



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE – UFS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DA QAI EM AUTOMÓVEIS DE PEQUENO
PORTE, SOB A INFLUÊNCIA DO SEU SISTEMA DE
CLIMATIZAÇÃO**

DENILMA DOS SANTOS OLIVEIRA

SÃO CRISTÓVÃO, 2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE – UFS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

AVALIAÇÃO DA QAI EM AUTOMÓVEIS DE PEQUENO PORTE, SOB A INFLUÊNCIA DO SEU SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO

Trabalho final apresentado ao Departamento
de Engenharia Ambiental da Universidade
Federal de Sergipe, como parte integrante
dos requisitos para obtenção de título de
Bacharel em Engenharia Ambiental e
Sanitária.

JOSÉ JAILTON MARQUES

Orientador

ANDRÉ LUIS DANTAS RAMOS

Coorientador

DENILMA DOS SANTOS OLIVEIRA

SÃO CRISTÓVÃO, 2019

DENILMA DOS SANTOS OLIVEIRA

AVALIAÇÃO DA QAI EM AUTOMÓVEIS DE PEQUENO PORTE, SOB A INFLUÊNCIA DO SEU SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) submetido e aprovado pela banca examinadora e pelo Departamento de Engenharia Ambiental (DEAM) da Universidade Federal de Sergipe (UFS), em 15 de abril de 2019, como pré-requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. José Jailton Marques - Orientador
Universidade Federal de Sergipe – CCET/DEAM

Eng^a. Ambiental Caroline Guerra Ramos Almeida
Administração Estadual do Meio Ambiente

Eng^a. Ambiental Máira Feitosa Menezes Macedo
Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais/UFS

AGRADECIMENTOS

A Deus eu agradeço o dom da vida e o da sabedoria, agradeço a sua fidelidade em me sustentar e me conduzir durante esta formação.

Agradeço a minha mãe (*in memoriam*) por cada batalha enfrentada para que um dia esse momento se tornasse possível, por ter plantado a semente dessa conquista e por sempre ter acreditado em mim. Hoje estou colhendo os frutos do seu amor e do seu cuidado, e o meu maior lamento é não poder te olhar, te abraçar e dizer “Mainha, nós conseguimos!”. Apesar da saudade que consome o meu ser, o meu maior conforto é saber que tudo aqui é passageiro, e que um dia, dentro em breve, nos encontraremos na eternidade. Enquanto esse tempo não chega, me abasteco com as lembranças, com o amor que me deste e com a gratidão de ter vivido os melhores dias da minha vida ao seu lado. Sempre te amarei!

Agradeço aos meus irmãos por serem a minha base, a minha força e a minha fonte de inspiração. Vocês são a maior e melhor herança que eu poderia ter! Obrigada por tudo!

Agradeço ao meu parceiro da vida, João Paulo Araújo, quem está sempre ao meu lado. Obrigada por todo apoio, incentivo, compreensão e por me ajudar a vencer os desafios da vida. Este agradecimento se estende a sua família, em especial a sua mãe, Rita de Cássia. Não tenho palavras para expressar tamanha gratidão por tudo que a Sra. já fez por mim. Obrigada Ritinha!

Agradeço a todos os professores que fizeram parte da minha formação, em especial ao meu orientador Jailton Marques pela paciência, disponibilidade e pelos ensinamentos. Agradeço também ao meu Coorientador André Luis por me encorajar a realizar este trabalho, não medir esforço para me ajudar e por não desistir frente as dificuldades que enfrentamos, mostrando seu comprometimento e profissionalismo. Obrigada professor, esse trabalho não seria o mesmo sem a sua ajuda!

Agradeço também aos amigos que fiz durante a graduação! Agradeço a Hyla Bantim, pelo início de graduação leve e de muita parceria. Especialmente, agradeço a Jéssica Oliveira que esteve comigo na maior parte dessa jornada, a qual sou grata por toda ajuda, paciência, companheirismo e pela amizade que farei questão de manter para o resto da vida.

Em especial, agradeço a Julie Moreira pelo apoio, pela amizade e por não medir esforços para me ajudar. Agradeço a Cheila Queiroz por se fazer presente todos esses anos de graduação, sempre vibrando com as minhas conquistas e ouvindo meus lamentos. Agradeço ainda a Wellisandra Cantidio, por sua amizade verdadeira e por também se fazer presente sempre. Por fim, agradeço a todos os amigos que me ajudaram a passar por essa etapa da vida! Todos vocês foram de extrema importância para que eu alcançasse esta vitória! Muito obrigada!

RESUMO

A qualidade do ar interior (QAI) de cabines veiculares merece atenção, uma vez que pessoas passam cada vez mais tempo dentro de seus veículos sob os efeitos do sistema de climatização veicular, o qual, atualmente, é um requisito obrigatório para manutenção da boa qualidade do ar e conforto ambiental dos carros. No entanto, tais sistemas podem trazer riscos no que diz respeito à presença de poluentes no ambiente interior. Deste modo, sabendo-se que a QAI dos meios de transporte ainda é pouco investigada no meio acadêmico e diante as complicações e malefícios que a má QAI em automóveis pode ocasionar aos seus ocupantes, o presente estudo tem como objetivo avaliar a QAI em carros de pequeno porte, sob os efeitos do sistema de climatização, em função da idade do veículo e das condições ambientais representadas pelos seguintes parâmetros: concentração de CO₂; umidade relativa do ar (UR); temperatura interna do veículo e compostos orgânicos voláteis totais (COVT), bem como verificar a influência do uso de desodorizantes/aromatizantes no teor deste último parâmetro. Para tanto, foram escolhidos quatro carros particulares, com fabricação entre os anos de 2004 e 2017. Medições diretas foram realizadas em cada carro em quatro situações distintas fazendo-se associações, a saber: carro parado + modo de renovação de ar; carro parado + modo de recirculação; carro em movimento + modo de recirculação de ar; carro em movimento + modo de renovação de ar. Cada associação foi também correlacionada, em um segundo momento, sob a presença de desodorizante. A aplicação de questionários aos proprietários dos veículos também foi objeto deste estudo. Diante os dados apresentados, concluiu-se que o carro mais novo possui um sistema de renovação de ar mais eficiente que os demais, uma vez que se consegue evitar o acúmulo de CO₂ nos dois modos de condicionamento de ar. O modo de recirculação provocou altos níveis de CO₂, em todos os carros, ultrapassando o limite de 1000 ppm recomendado pela Resolução nº09/2003 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), demonstrando não conformidade já nos primeiros minutos de medição. No que concerne à temperatura e à UR, para todos os carros estudados, não houve compatibilidade com os padrões previstos na NBR 16.401-2. No que diz respeito ao COVT, todos os carros demonstraram piora em relação a concentração deste após aplicação do desodorizante, com apenas uma exceção em que o dono do veículo já fazia uso de desodorizante e o teor de COVT já exibía concentrações significativas nas medições iniciais, antes mesmo da aplicação do desodorizante do estudo.

Palavras-chave: climatização de veículos; modo de recirculação; modo de renovação de ar COVs; desodorizante veicular.

ABSTRACT

Indoor Air Quality (IAQ) of vehicular cabins deserves attention, as people spend more and more time inside their vehicles under the effects of the vehicular air conditioning system, which is currently a mandatory requirement for maintaining good air quality and environmental comfort of cars. However, such systems may pose a risk regarding the presence of pollutants in the indoor environment. Thus, knowing that the IAQ inside means of transportation is still little investigated in the academic environment and in the face of the complications and harms that bad IAQ in automobiles can cause to its occupants, besides the significant period that they remain in these environments, the present study aims to evaluate the QAI in small cars, under the effects of the air conditioning system, according to the age of the vehicle and the environmental conditions represented by the following parameters: CO₂ concentration; relative humidity (RH); vehicle internal temperature and total volatile organic compounds (COVT), as well as to verify the influence of the use of deodorants / flavorings on the content of the latter parameter. For this purpose, four private cars were selected, manufactured between 2004 and 2017. Direct measurements were performed in each car in four different situations, making associations: car stopped + air renewal mode; car stopped + recirculation mode; moving car + air recirculation mode; moving car + air renewal mode. Each association was also correlated, in a second moment, under the presence of deodorant. The application of questionnaires to vehicle owners was also the object of this study. Based on the data presented, it was concluded that the newer car has a more efficient air conditioning system than the others, since it is possible to avoid CO₂ accumulation in the two modes of air conditioning. The recirculation mode caused high levels of CO₂ in all cars, exceeding the limit of 1000 ppm required by Resolution n°. 09/2003 of National Health Surveillance Agency (ANVISA), demonstrating non-compliance in the first minutes of measurement. Regarding temperature and RH, for all cars studied, there was no compatibility with the standards set forth in NBR 16.401-2. Regarding COVT, all cars showed a worsening in IAQ in relation to the concentration of deodorant after application of the deodorant, with only one exception where the owner of the vehicle was already using deodorant and the COVT content already exhibited significant concentrations in the measurements before the application of the deodorant used in the study.

Keywords: air conditioning of vehicles; recirculation mode; air renewal mode; VOCs; vehicle deodorant.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Disposição dos principais componentes de um sistema de climatização automotivo.	18
Figura 2 - Ilustração de um compressor de climatização automotiva.	18
Figura 3 - Localização do evaporador no sistema de climatização automotivo.	19
Figura 4 - Localização do condensador em um sistema de climatização automotivo.	20
Figura 5 - Esquema de um sistema de climatização automotivo com uso de válvula de expansão termostática.	21
Figura 6 - Esquema de um sistema de climatização automotivo com uso de tubo de orifício.	22
Figura 7 - Ilustração de um filtro secador de um sistema de climatização automotivo.	22
Figura 8 - Filtro de cabine de um sistema de climatização automotiva.	23
Figura 9 - Modelo de painel de controle de um sistema de climatização veicular.	25
Figura 10 - Balanço volumétrico de uma respiração humana.	27
Figura 11 - Classificação das técnicas existentes para remoção de COVs.	38
Figura 12 - Analisador de dióxido de carbono.	44
Figura 13 - Medidor de COVTs utilizado.	45
Figura 14 - Desodorizante utilizado no estudo.	47
Figura 15 - Gráficos da concentração de CO ₂ em função do tempo para o Renault Sandero (a) carro parado sob modo de renovação e recirculação de ar (b) carro em movimento sob modo de renovação e recirculação de ar.	49
Figura 16 – Evolução da temperatura e da umidade relativa com o tempo para o Renault Sandero (a) temperatura para o carro parado sob o modo de recirculação e renovação de ar (b) temperatura para o carro em movimento sob o modo de recirculação e renovação de ar (c) umidade relativa para o carro parado sob o modo de recirculação e renovação de ar (d) umidade relativa para o carro em movimento sob o modo de recirculação e renovação de ar.	50
Figura 17 - Gráficos de COVT em função do tempo para o Renault Sandero, com e sem desodorizante (a) carro parado sob modo de renovação de ar (b) carro parado sob modo de recirculação de ar (c) carro em movimento sob modo de renovação de ar e (d) carro em movimento sob modo de recirculação de ar.	52
Figura 18 - Gráficos da concentração de CO ₂ em função do tempo para o HB20 (a) carro parado sob modo de renovação do ar e recirculação (b) carro parado sob modo de renovação e recirculação do ar.	54
Figura 19 – Evolução da temperatura e da umidade relativa com o tempo para o HB20 (a) temperatura para o carro parado sob o modo de recirculação e renovação de ar (b) temperatura	

para o carro em movimento sob o modo de recirculação e renovação de ar (c) umidade relativa para o carro parado sob o modo de recirculação e renovação de ar (d) umidade relativa para o carro em movimento sob o modo de recirculação e renovação de ar.....	55
Figura 20 - Gráficos de COVT em função do tempo para o HB20, com e sem desodorizante (a) carro parado sob modo de renovação do ar (b) carro parado sob modo de recirculação do ar (c) carro em movimento sob modo de renovação de ar e (d) carro em movimento sob modo de recirculação de ar.....	57
Figura 21 - Gráficos da concentração de CO ₂ do Fiat Punto em função do tempo para (a) carro parado sob modo de renovação de ar e recirculação (b) carro parado sob modo de renovação e recirculação de ar.....	59
Figura 22 – Evolução da temperatura e da umidade relativa com o tempo para o Fiat Punto (a) temperatura para o carro parado sob o modo de recirculação e renovação de ar (b) temperatura para o carro em movimento sob o modo de recirculação e renovação de ar (c) umidade relativa para o carro parado sob o modo de recirculação e renovação de ar (d) umidade relativa para o carro em movimento sob o modo de recirculação e renovação de ar.....	60
Figura 23 - Gráficos de COVT em função do tempo para Fiat Punto, com e sem desodorizante (a) carro parado sob modo de renovação do ar (b) carro parado sob modo de recirculação do ar (c) carro em movimento sob modo de renovação de ar e (d) carro em movimento sob modo de recirculação do ar.....	62
Figura 24 - Gráficos da concentração de CO ₂ em função do tempo para o Ford Fiesta (a) carro parado sob modo de renovação e recirculação de ar (b) carro parado sob modo de renovação e recirculação de ar.....	64
Figura 25 – Evolução da temperatura e da umidade relativa com o tempo para o Ford Fiesta (a) temperatura para o carro parado sob o modo de recirculação e renovação de ar (b) temperatura para o carro em movimento sob o modo de recirculação e renovação de ar (c) umidade relativa para o carro parado sob o modo de recirculação e renovação de ar (d) umidade relativa para o carro em movimento sob o modo de recirculação e renovação de ar.....	65
Figura 26 - Gráficos de COVT em função do tempo do Ford Fiesta, com e sem desodorizante (a) carro parado sob modo de renovação do ar (b) carro parado sob modo de recirculação do ar (c) carro em movimento sob modo de renovação de ar (d) carro em movimento sob modo de recirculação do ar.....	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fatores e fontes que influenciam a QAI e o conforto ambiental.....	15
Quadro 2 – Faixas de concentrações de CO ₂ e seus principais efeitos à saúde.....	32
Quadro 3 - Informações características do benzeno.....	34
Quadro 4 - Informações características do formaldeído.	35
Quadro 5 - Especificações do analisador de CO ₂	44
Quadro 6 - Dados das condições ambiente no momento do estudo com o Renault Sandero...48	
Quadro 7 - Dados das condições ambiente no momento do estudo com o HB20.....	53
Quadro 8 - Dados das condições ambiente no momento do estudo com o Fiat Punto.....	58
Quadro 9 - Dados das condições ambiente no momento do estudo com o Ford Fiesta.	63

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1	Poluição em ambientes interiores.....	14
2.2	Ambientes climatizados e os Sistemas AVAC.....	16
2.3	Sistema de climatização automotivo	17
2.3.1	Principais componentes do sistema de climatização automotivo.....	18
2.4	Modos de condicionamento de ar em veículos	24
2.5	QAI em cabines veiculares.....	25
2.5.1	Estudos realizados sobre a QAI em veículos	27
2.6	Efeitos a saúde causados pela exposição ao CO ₂	31
2.7	Efeitos à saúde causados pela exposição aos COVs	32
2.8	Controle da poluição por COVs	36
2.8.1	Técnicas de medição de COVs.....	36
2.8.2	Técnicas de remoção de COVs	37
2.9	Aspectos legais e normativos	39
3	METODOLOGIA	44
3.1	Caracterização dos veículos estudados.....	44
3.2	Equipamentos e método de medição utilizados	44
3.2.1	Método utilizado.....	46
3.3	Levantamento dos hábitos dos proprietários	47
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1	Renault Sandero	48
4.2	HB20	53
4.3	Fiat Punto	58
4.4	Ford Fiesta	63
5	CONCLUSÃO.....	70
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	72
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

APÊNDICE I - Questionários.....	79
---------------------------------	----

1 INTRODUÇÃO

A QAI é o estado do ar interior, derivado do processo de ocupação de um ambiente fechado com ou sem climatização artificial (ANVISA, 2003). No entanto, este conceito é de maneira geral, complexo e extensivo, uma vez que depende de parâmetros: químicos, como a concentração de gás carbônico (CO_2) ou outros gases de caráter mais nocivo; físicos, como temperatura, umidade relativa do ar e taxa de ventilação; além de parâmetros biológicos, como fungos e bactérias (ABREU, 2010; FAKHOURY, 2017).

Assim sendo, para que se obtenha uma boa QAI é preciso atingir taxas de ventilação e renovação de ar adequadas, uma elevada pureza do ar, bem como uma filtragem efetiva do ar externo antes deste adentrar os ambientes interiores (ABREU, 2010).

Ambientes interiores são considerados, por sua vez, ambientes fechados, para atividades laborais como escritórios, lojas comerciais, hospitais e outros, além de residências e meios de transporte, como os metrô, ônibus e cabines veiculares (FILHO, 2008).

Uma pesquisa realizada pela Csa Research (2017) revelou que um total de quatro anos e onze meses é o tempo total em que os brasileiros passam dentro de um carro no decorrer de suas vidas. Desse modo, a QAI em cabines veiculares merece atenção, uma vez que a tendência é que as pessoas passem cada vez mais tempo em seus carros, seja a trabalho ou para a própria locomoção, sob a influência do sistema de climatização dos mesmos.

Os sistemas de climatização veiculares têm se tornado requisito obrigatório para manutenção da boa qualidade do ar dos carros, principalmente em locais de clima tropical e subtropical como no Brasil, além de ser um importante item de segurança, pois andar com os vidros fechados tornou-se prevenção a riscos iminentes de furtos e roubos no país.

Um importante requisito no que diz respeito à subsistência de uma boa QAI em veículos é o conforto ambiental. Este é influenciado, principalmente, pelo(a): temperatura ambiente e temperatura das superfícies, umidade relativa do ar, velocidade do ar ou taxa de ventilação, fontes de radiação (ex.: radiação solar), presença de poluição química (odores, bioefluentes etc.), nível de atividade dos ocupantes, grau de ocupação do espaço e pelo bom funcionamento do sistema de climatização (RAMOS, 2014).

Os principais contaminantes físico-químicos do ar interno são: o material particulado, em particular a fibra de amianto; os compostos orgânicos voláteis (COVs); os compostos inorgânicos gasosos; o dióxido de carbono (CO_2); o monóxido de carbono (CO); os óxidos de nitrogênio (NO_x); o dióxido de enxofre (SO_2); o radônio (^{222}Rn) e o ozônio (O_3); além da fumaça de cigarro (QUADROS; LISBOA, 2010).

Tais poluentes internos possuem a capacidade de causar efeitos adversos de diversas maneiras aos ocupantes do recinto, desde o desconforto sentido em um nível sensorial a graves doenças, como doenças crônicas, neurológicas e até mesmo a carcinogenicidade, a depender do contaminante presente no ambiente interior (BARRESE et al., 2014).

Um dos principais fatores que contribuem para as queixas de sintomas de doenças ocasionadas pela má QAI é a combinação da baixa taxa de renovação do ar com a presença de numerosas fontes internas de químicos (como por exemplo: desodorizantes e aromatizantes de ambientes internos, perfumes, materiais de construção, produtos de limpeza, entre outros), o que resulta em concentrações elevadas de COVs e bioefluentes humanos.

Levando-se em consideração que a qualidade do ar dentro dos meios de transporte ainda é pouco investigada no meio acadêmico (QUADROS et al., 2008) e diante das complicações e malefícios que a má QAI em automóveis pode ocasionar aos seus ocupantes, além do período significativo que os mesmos permanecem nestes ambientes, o presente estudo tem como objetivo geral avaliar a QAI em carros de pequeno porte, sob os efeitos do sistema de climatização, em função da idade do veículo e das condições ambientais representadas pelos seguintes parâmetros: concentração de CO₂; umidade relativa do ar (UR); temperatura interna do veículo e compostos orgânicos voláteis totais (COVT), bem como verificar a influência do uso de desodorizantes/aromatizantes no teor deste último parâmetro.

Como objetivos específicos tem-se a avaliação da QAI de carros de pequeno porte, quanto aos seguintes aspectos: modo de condicionamento de ar e sua eficiência; movimentação do veículo e hábitos do proprietário. Além disso, busca-se fazer comparações entre as medições realizadas dos parâmetros supracitados e os parâmetros exigidos pela legislação vigente, afim de se verificar conformidade destas em termos de conforto ambiental.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Poluição em ambientes interiores

A concentração de poluentes nos ambientes interiores pode ser definida como o residual resultante do balanço entre a emissão das fontes internas e tudo o que é removido e fornecido através da ventilação (ECA, 1997). Esta, por sua vez, é utilizada como forma de atenuar os impactos gerados pelas emissões oriundas dos seres humanos e seus hábitos, porém pode se tornar condutora de entrada para os contaminantes externos (KRUZA; CARSLAW, 2019).

Nos ambientes sob influência de sistemas de climatização, o correto funcionamento e a manutenção do sistema utilizado, bem como a ciência dos poluentes existentes no espaço, são de grande valia para que se atinja uma boa qualidade do ar (SILVA, 2000). Ademais, é de extrema necessidade que os responsáveis pelo gerenciamento do sistema estejam conscientes dos efeitos adversos à saúde provocados pela má QAI (SILVA, 2000).

No que concerne à poluição destes ambientes, uma classe de poluentes bastante estudada ultimamente e que merece atenção é a dos compostos orgânicos voláteis (COVs), os quais são todos os compostos que possuem pressão de vapor igual ou superior a 0,01 kPa a 293,15 °K, ou fácil volatilidade nas condições ambientes (EU, 1999). Além disso, são também todos os compostos que contém em sua composição química carbono e hidrogênio (com exceção do metano) e podem ser substituídos facilmente por outros átomos como os halogêneos, o oxigênio, enxofre, nitrogênio ou fósforo, excetuando-se os óxidos de carbono e carbonatos (SCHIMER; RUDNIAK, 2009).

A concentração Total de Compostos Orgânicos Voláteis (COVT) presente num dado ambiente interior é a forma mais simples encontrada para dar uma informação sobre a poluição química total, a qual os ocupantes estão expostos (SILVA, 2000). Desse modo, o COVT pode ser usado como meio de detectar baixa eficiência de ventilação, medindo-se concentrações em diferentes posições num espaço e comparando as variações relativas nas concentrações com o esperado do tipo de ventilação ou condicionamento de ar utilizado (ECA, 1997).

A QAI é um fator que merece atenção devido aos seus efeitos ocasionados à saúde, principalmente, devido ao crescimento dos registros de doenças relacionadas ao edifício, como a síndrome de sensibilidade múltiplas e a Síndrome do Edifício Doente (SED) (JINNO et al., 2007). Suas consequências vão desde descontentamento, fadiga ou mal-estar, com redução da produtividade, a irritações do nariz, pele, olhos, garganta, além de dores de cabeça e perda de concentração (SILVA, 2000).

Nesse contexto, é sabido que o ambiente interno está sujeito a diversas fontes e fatores que condicionam a sua qualidade do ar, conforme demonstrado no Quadro 1. Os mesmos influem diretamente nos indicadores de qualidade de ar, os quais são utilizados para identificar as falhas e ineficiência do sistema de ventilação e de ar condicionado, relacionar sintomas dos ocupantes com a qualidade do ar e reconhecer as fontes de poluição existentes (BRICKUS; NETO, 1998).

Quadro 1 - Fatores e fontes que influenciam a QAI e o conforto ambiental

Fatores	Fontes
Temperatura e Umidade Relativa do ar	Controle de umidade deficiente, manutenção AVAC, equipamentos que geram calor e umidade a exemplo dos eletrodomésticos, número de equipamentos instalados, além da densidade de ocupação.
Dióxido de carbono	Número de pessoas, queima de combustíveis fósseis.
Monóxido de carbono	Emissões de veículos (garagens, entradas de ar), combustão, fumo do tabaco.
Formaldeído	Madeira prensada, isolamento de espuma de ureia, tecidos, cola, carpetes, mobiliário, papel químico, produtos de cabelo.
Material particulado	Fumo, entradas de ar, papel, isolamento de tubagens, resíduos de água, carpetes, filtros de sistema AVAC, faxinas.
Compostos Orgânicos Voláteis (COV)	Fotocopiadoras e impressoras, computadores, carpetes, mobiliário, produtos de limpeza, fumo, tintas, adesivos, calafetagem, perfumes, desodorizante/aromatizantes, solventes.
Ventilação inadequada / Recirculação de ar ineficiente	Economias de energia e manutenção, projeto mal elaborado dos sistemas de AVAC, mau funcionamento, concepção desajustada dos espaços em avaliação.
Matéria microbiana	Água estagnada em sistemas de AVAC, materiais molhados e úmidos, desumidificadores, condensadores das torres de arrefecimento (<i>chillers</i>), torres de refrigeração, falta de manutenção dos sistemas de AVAC.

Fonte: Adaptado de APA; LRA, 2009.

Os indicadores mais comuns da QAI são: as concentrações dos contaminantes, as velocidades de emissão das fontes internas e externas, a velocidade e taxa de renovação do ar, os odores e percepção sensorial, a razão de concentração interna/externa, além da taxa de densidade ocupacional e o conforto ambiental (BRICKUS; NETO, 1998).

Desse modo, um procedimento de investigação da QAI deve ser instaurado afim de se erradicar ou evitar o problema. Tal procedimento pode ser caracterizado por um ciclo de informação como coleta, formação de hipóteses e hipótese testes, começando geralmente com uma inspeção da área, afim de se obter informações sobre os indicadores supracitados (EPA, 1991) .

2.2 Ambientes climatizados e os Sistemas AVAC

A Resolução nº 9 da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), de 16 de janeiro de 2003, a qual estabelece fundamentos a respeito da QAI em ambientes climatizados de domínio público ou privado, define esses tipos de ambiente como espaços físicos perimétricos, os quais possuem grandezas e dimensões estabelecidas e têm as suas instalações sob um sistema de climatização. São exemplos de ambientes climatizados: o interior de casas, veículos, apartamentos, shoppings, escritórios ou qualquer que seja o ambiente confinado, habitado pelo homem, sob a influência desse sistema.

Nesse contexto, a climatização definida pelo Ministério da Saúde (1998), por meio da Portaria nº 3.523, de 28 de agosto de 1998, é a soma de todos os processos utilizados, através de mecanismos e aparelhagem específica, a fim de atingir condições favoráveis em termos de conforto e boa qualidade do ar em ambientes interiores e garantir o bem-estar dos ocupantes do recinto.

Um sistema de climatização tem como funções: controlar umidade relativa, temperatura e pressão interna do ambiente; propiciar ar interno limpo aos ocupantes; eliminar odores e poluentes do local (através do uso de exaustores), filtrá-los ou diluí-los em níveis aceitáveis; e controlar a relação da pressão entre ambientes confinados que se localizem em regiões próximas, a exemplo de salas vizinhas (APA; LRA, 2009).

O conjunto dos equipamentos que proporcionam a climatização desse tipo de ambiente, chama-se Sistema AVAC. Esta sigla é utilizada para abreviar Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado, sendo então cada uma dessas finalidades, associadas ou não, utilizadas para manutenção de uma boa QAI em ambientes climatizados (OLIVEIRA, 2013). Sistemas, como o mencionado acima, reúnem em sua composição os fundamentos da termodinâmica, da mecânica dos fluidos e da transferência de calor (SILVA, 2011).

Assim sendo, o aquecimento é utilizado no sistema quando se deseja manter, a uma dada temperatura, um espaço onde o ambiente externo encontra-se com temperatura menor e variável em relação ao interno. É, portanto, a produção do calor através do uso da energia elétrica. Já, a ventilação, entra no sistema com o objetivo de renovação do ar, de forma a retirar ou diluir os

poluentes, além de proporcionar conforto térmico. O ar condicionado, por sua vez, consiste na retirada de energia de um ambiente e seu lançamento em outro. Dessa forma, o aparelho permite a manutenção da temperatura desejável, a recirculação do ar, bem como a sua desumidificação.

2.3 Sistema de climatização automotivo

O sistema de climatização de automóveis é um sistema AVAC e, como via de regra, atua fornecendo conforto térmico aos ocupantes do veículo. Este sistema é constituído por um subsistema de aquecimento, um subsistema de redistribuição de ar, um subsistema de controle de temperatura e vazão de ar e um ciclo de refrigeração (MOURA, 2007).

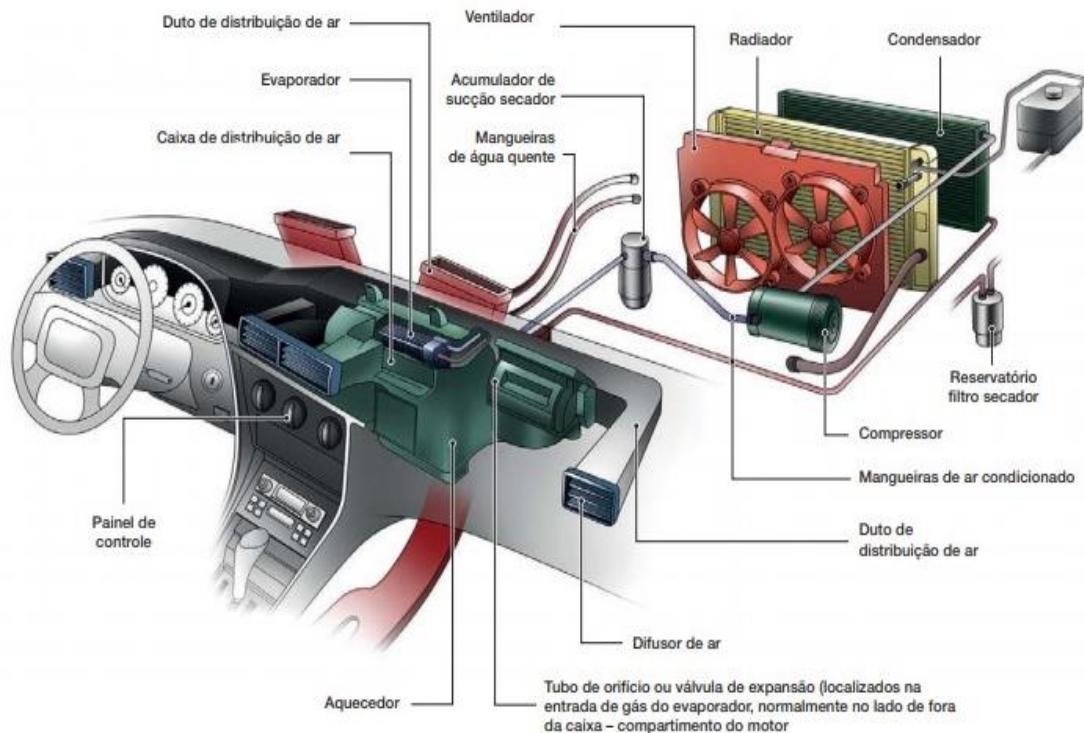
O subsistema de aquecimento é constituído por trocadores de calor confeccionados em alumínio ou cobre (SILVA, 2006). Já o subsistema de redistribuição de ar, conduz e direciona o mesmo para o para-brisa, as saídas de ar centrais, bem como para as saídas localizadas próximos aos pés dos ocupantes do veículo.

Uma malha de controle fechada que atenda o desejo de conforto térmico dos usuários do veículo, composta por evaporador, condensador e outros, deve constituir o subsistema de controle, de modo que tanto o ciclo de refrigeração quanto o subsistema de aquecimento do automóvel sejam arquitetados para que funcionem em todas e quaisquer circunstâncias, a mercê de ajustes realizados (MOURA, 2007).

Assim como os ciclos de refrigeração convencionais, o automotivo também necessita de trabalho para funcionar corretamente, o qual é introduzido no sistema pelo compressor que o obtém através da transferência de energia advinda da combustão interna do motor do automóvel (ITAO, 2005). Este processo provoca um maior consumo de combustível e uma diminuição de potência na sua movimentação, o que pode causar ineficiência no funcionamento global do mesmo (ITAO, 2005).

Diante o exposto, o sistema de climatização veicular é um sistema complexo em que os seus componentes devem funcionar de forma concatenada para que, desse modo, atinja condições ótimas de operação, proporcionando assim conforto térmico aos usuários e uma QAI adequada. Na Figura 1, a disposição convencional dos mesmos é apresentada, no entanto a localização destes componentes sofre variações de um veículo para outro.

Figura 1 - Disposição dos principais componentes de um sistema de climatização automotivo.



Fonte: Adaptado de MAHLE, 2018.

A seguir, serão apresentados e descritos os principais componentes de um sistema de climatização automotivo.

2.3.1 Principais componentes do sistema de climatização automotivo

Compressor

O compressor (Figura 2) é responsável pela circulação do fluido refrigerante no sistema de climatização automotivo. É o principal componente do sistema (GAZIOLLA; GOMES, 2010). O mesmo é ativado pelo motor do automóvel e proporciona uma variação de pressão no gás, criando um fluxo deste, fazendo-o circular dentro do sistema (DÍAZ, 2002).

Figura 2 - Ilustração de um compressor de climatização automotiva.



Fonte: MAHLE, 2018.

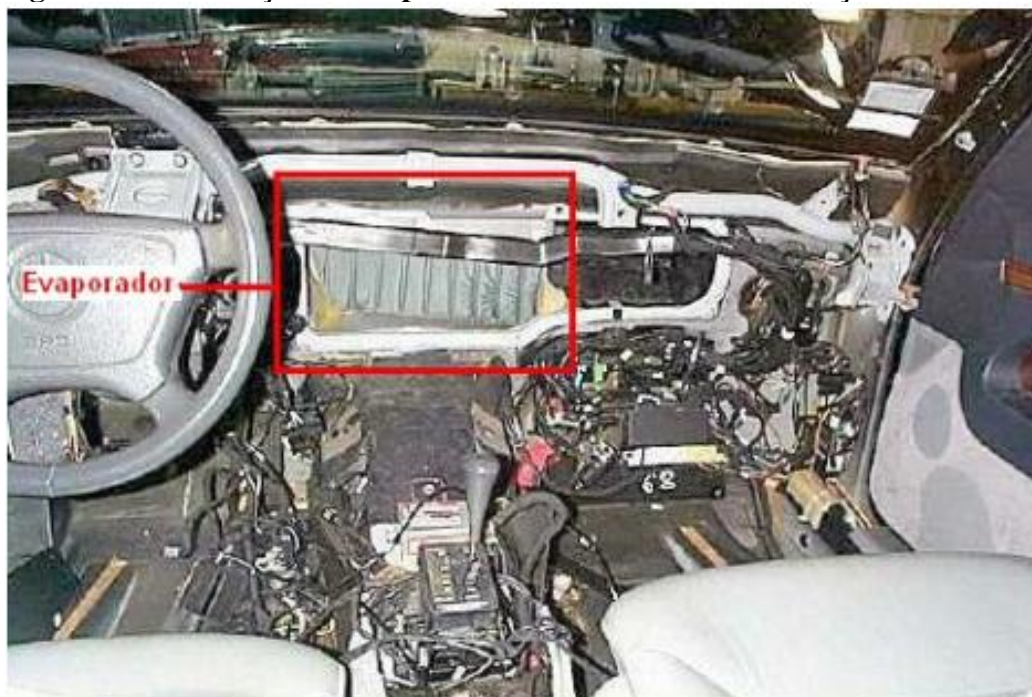
Com isso, um compressor sob condições ótimas de operação deve ser capaz de operar com grandes variações de rotação e pressão (ITAO, 2005). É válido ressaltar, que este componente necessita de lubrificação adequada devido aos atritos que existem no seu funcionamento (DÍAZ, 2002), e deve ser realizada por óleo que se mistura ao fluido refrigerante em meio ao funcionamento do sistema.

Evaporador

O evaporador é um trocador de calor. Nele acontece a evaporação do fluido refrigerante, que ao entrar em contato com ar interno ou com o ar externo o veículo absorve todo o seu calor. É constituído por tubos de cobre em forma de serpentina e aletas de alumínio, os quais têm como objetivo aumentar a área de circulação do fluido para que haja a troca de calor supracitada e, por consequência, o seu resfriamento e a sua desumidificação (FORNASARI; BIONDO; ROANI, 2013).

O mesmo encontra-se localizado na caixa de ar do sistema de climatização, embaixo do painel de comando do veículo, conforme pode ser visto na Figura 3 (SILVA, 2006).

Figura 3 - Localização do evaporador no sistema de climatização automotivo.



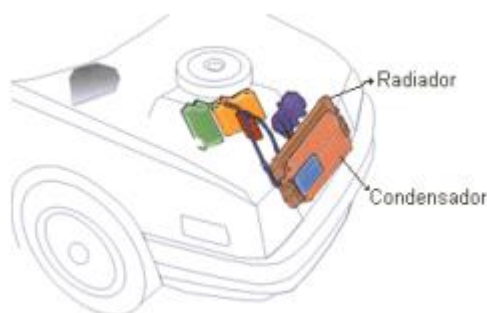
Fonte: GAZIOLLA; GOMES, 2010.

É comum que haja concentração de umidade ou até mesmo de água nas aletas do evaporador (SILVA, 2006). No entanto, deve-se ficar atento quando há formação de gelo, o que ocasiona uma diminuição no fluxo de ar enviado para cabine e, por conseguinte, redução da eficiência de refrigeração do sistema, um vez que o espaço de passagem do mesmo estará reduzido (MOURA, 2007).

Condensador

O condensador tem por finalidade subtrair calor do fluido refrigerante vindo do compressor, o qual irá mudar de fase passando de vapor para líquida (DÍAZ, 2002). Instalado na parte frontal do veículo, na frente do radiador, conforme pode ser visto na Figura 4, o compressor é quem recebe todo o fluxo de ar externo enquanto o carro estiver em movimento (GAZIOLLA; GOMES, 2010).

Figura 4 - Localização do condensador em um sistema de climatização automotivo.



Fonte: MOURA, 2007.

A eficiência deste componente está relacionada com a desobstrução das suas aletas, assim como, com o bom funcionamento dos ventiladores, sendo possível encontrar de um a três ventiladores em um sistema de climatização automotivo, a depender da marca e modelo do veículo (SILVA, 2006).

Os ventiladores são localizados atrás dos condensadores e possui como principal função, auxiliar o condensador atraindo o ar, de modo a auxiliar no arrefecimento do fluido, como também na conservação da temperatura ideal de trabalho do motor (MOURA, 2007).

Válvula de expansão e Tubo de orifício

A válvula de expansão possui como principal função, o controle da quantidade de fluido refrigerante que passa pelo evaporador, além disso divide o sistema em zona de baixa e zona de alta pressão (GAZIOLLA; GOMES, 2010).

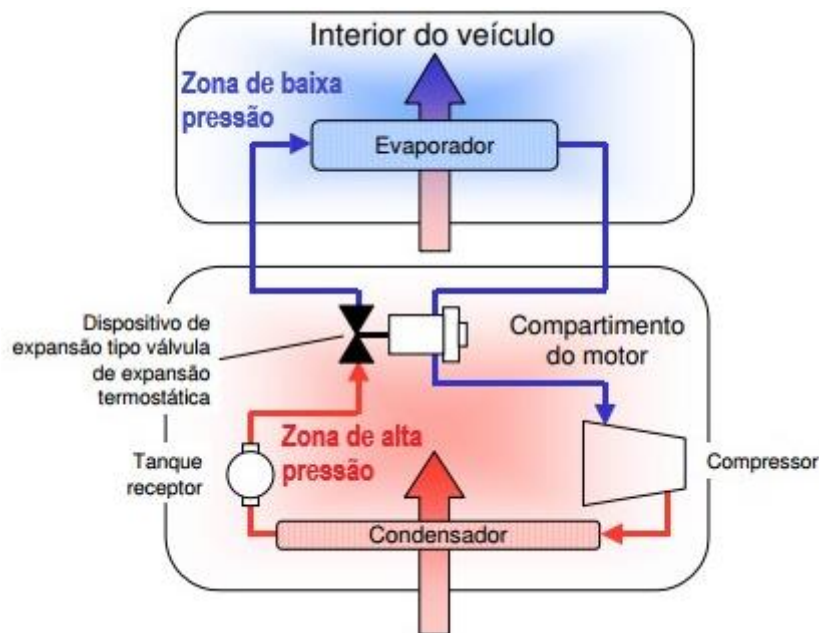
Deste modo, ela ajusta o fluxo de fluido refrigerante conforme a taxa de evaporação do sistema (DÍAZ, 2002). A mesma é vulnerável à umidade e partículas sólidas de impurezas que possam ocasionar obstruções nas instalações do sistema (SILVA, 2006).

O tubo de orifício também controla o fluxo de fluido refrigerante por meio de um bulbo térmico e proporciona a queda de pressão para que haja uma mudança de estado e a temperatura baixe no evaporador, dessa forma possui o mesmo efeito da válvula de expansão (SILVA, 2006).

Este tubo possui telas de proteção na sua entrada para filtragem do fluido, evitando assim a sua obstrução, e telas na saída para minimização dos ruídos emitidos no processo de vaporização (ITAO, 2005).

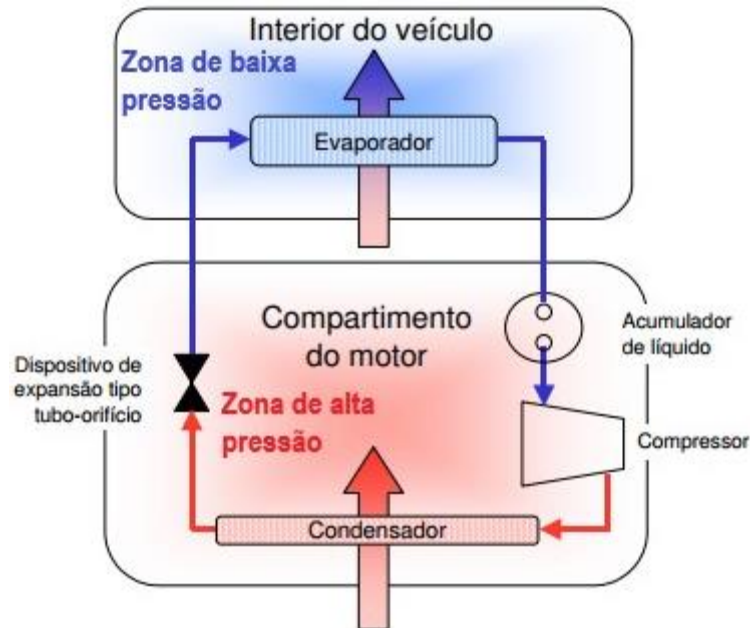
Na Figura 5 é apresentado um esquema de funcionamento do sistema de climatização automotivo com a válvula de expansão acoplada ao motor do veículo, já na Figura 6 o mesmo esquema é apresentado utilizando-se o tubo de orifício como dispositivo de expansão. A diferença entre eles consiste na presença do acumulador de líquido existente no segundo esquema, o qual garante que o refrigerante não chegue ao evaporador na fase líquida (SANTOS, 2005). Como a válvula garante o superaquecimento do refrigerante na saída do evaporador, além de não precisar do acumulador, o sistema contém um tanque receptor na sua entrada, garantindo que somente líquido chegue até ela (SANTOS, 2005).

Figura 5 - Esquema de um sistema de climatização automotivo com uso de válvula de expansão termostática.



Fonte: Adaptado de SANTOS, 2005.

Figura 6 - Esquema de um sistema de climatização automotivo com uso de tubo de orifício.



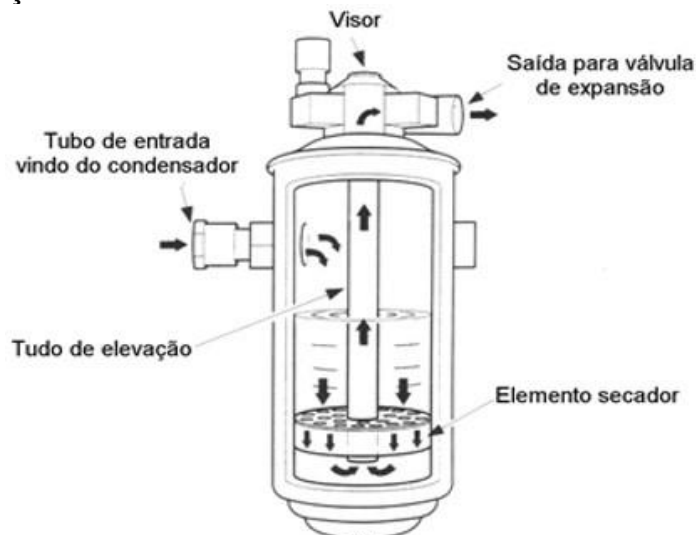
Fonte: Adaptado de SANTOS, 2005.

Filtro secador

É utilizado em conjunto com a válvula de expansão (acumulador de líquido supracitado) e está localizado na saída do condensador (GAZIOLLA; GOMES, 2010).

O filtro secador, ilustrado na Figura 7, tem como função: filtrar as partículas sólidas liberadas pela deterioração das partes que compõe o compressor, as quais podem danificar o sistema; absorver a umidade do refrigerante líquido na válvula de expansão; além de servir como depósito de resíduos gerados pelo refrigerante (SILVA, 2006). Portanto, é o componente secundário mais importante do sistema de climatização (CASTRO, 2010).

Figura 7 - Ilustração de um filtro secador de um sistema de climatização automotivo.



Fonte: FIGUEIREDO, 2008.

Filtro de cabine

Fabricado em fibra de poliéster, o filtro de cabine tem por função bloquear a passagem de partículas e poluentes, a exemplo do pólen, o qual pode provocar sérios problemas na saúde dos ocupantes do veículo, como crises alérgicas (CORSI; FERREIRA, 2017). Este componente geralmente está localizado abaixo do painel de controle, próximo ao evaporador, e é o principal responsável por manter a boa QAI do veículo. A Figura 8 ilustra este componente do sistema.

Figura 8 - Filtro de cabine de um sistema de climatização automotiva.



Fonte: CORSI; FERREIRA, 2017.

Desta forma, a manutenção do filtro de cabine é uma ação imprescindível e deve ser realizada levando-se em consideração as recomendações do fabricante do objeto, embora orienta-se que o mesmo seja trocado a cada seis meses de uso ou a cada 15.000 quilômetros rodados pelo veículo, ou ainda após a cada 10.000 quilômetros rodados para os filtros constituídos por carvão ativado (SOARES, 2009).

É sabido que além da poluição ambiental externa ao veículo, os maus hábitos dos usuários podem comprometer o bom funcionamento do filtro em questão. De tal modo, a renovação do filtro de cabine deve ser realizada também sempre que existir odores no habitáculo interno, quando o fluxo de entrada de ar para a cabine estiver reduzido, quando o sistema se mostrar ineficiente, bem como quando houver a impressão de que o ar esteja pesado no interior do veículo (SOARES, 2009).

Fluidos refrigerantes

Os sistemas de ar condicionado automotivos, os quais possuem um sistema de refrigeração através da compressão de vapor, têm por necessidade o uso de fluidos refrigerantes.

Para que sejam utilizados, os mesmos precisam atender alguns requisitos: apresentar baixo ponto de ebulição e solidificação; consumir bastante calor em pequenas quantidades; possuir uma temperatura crítica baixa, em que acima desta o gás não poderá se liquefazer independentemente da pressão a qual se encontra; não deve ser explosivo, corrosivo, inflamável, tóxico, nocivo e nem oxidante; e deve ser estável, ou seja, deve se misturar a lubrificantes e ser inerte aos metais em geral (FORNASARI; BIONDO; ROANI, 2013).

O fluido que apresenta todas essas características é o diclorodifluormetano (CC12F2), também chamado de Freon-12. Este gás foi utilizado por muitos anos, até ser revelado o quanto o seu uso é prejudicial para a camada de ozônio. Desde então, alternativas a este fluido vêm sendo criadas e/ou cogitadas, como por exemplo, a amônia, os hidrocarbonetos, os hidrofluorcarbonetos (HFC) e o gás carbônico (GAZIOLLA; GOMES, 2010).

A classe mais utilizada atualmente tem sido o tetrafluoretano, um HFC, também chamado de R-134a. No entanto, há um conflito na utilização deste no sistema de lubrificação e de vedação se usado no mesmo sistema do R12, o que levou a criação de diversas normas específicas no intuito de proteger os sistemas de possíveis contaminações em consequência da utilização de refrigerantes incorretos (SANTOS, 2005).

Algumas dessas normas são: a SAE-J639, que fornece padrões para projeto, montagem, teste e serviço de sistemas de ar condicionado automotivo para minimizar os impactos ambientais, de saúde e segurança; a SAEJ2210, que estabelece os requisitos mínimos de equipamento específicos para a reciclagem do R-134a; a SAE-J1732, que fornece especificações de equipamentos para a recuperação do refrigerante R-134a, entre outras (SANTOS,2005).

2.4 Modos de condicionamento de ar em veículos

Atualmente os carros têm sido fabricados com a opção de dois modos de condicionamento, sendo eles: o de renovação do ar, em que o ar externo é absorvido e resfriado pelo sistema que, posteriormente, será lançado ao habitáculo do veículo; e o de recirculação de ar, no qual o ar interno do veículo é extraído e lançado para o sistema, logo após é resfriado pelo mesmo e devolvido ao ambiente, causando assim a diminuição da sua temperatura.

Ambos podem ser acionados pelos próprios ocupantes do veículo, manualmente, através do painel de controle do sistema de climatização, conforme modelo pode ser visto na Figura 9. O painel permite a seleção da saída de ar quente, frio ou ainda da mistura destes, assim como possibilita o controle da direção e velocidade do ar através dos difusores (SILVA,2006).

Figura 9 - Modelo de painel de controle de um sistema de climatização veicular.



Fonte: Elaborado pela autora.

O modo de recirculação de ar é indicado na ocasião em que se deseja um resfriamento mais rápido do ambiente, tal como quando se tem por objetivo impedir o acúmulo de poeira e de odores externos dentro do veículo (SOARES, 2009).

Todavia, passadas as devidas circunstâncias, recomenda-se a utilização do modo de renovação do ar, uma vez que durante a recirculação, o ar tende a ficar cada vez mais seco podendo ocasionar desconfortos, irritações nos olhos e nariz, além da possibilidade de problemas respiratórios. O mesmo modo em questão, pode também: aumentar o teor de gás carbônico dentro do veículo e, por consequência, o sono do motorista e a sua desconcentração durante a condução do mesmo.

Assim sendo, deve haver um equilíbrio na utilização dos modos de condicionamento de ar automotivo, ora acionados em modo de renovação de ar, ora em recirculação do ar interno, de modo que seja possível manter bons índices de QAI, de conforto térmico e integridade física e mental dos ocupantes do veículo.

2.5 QAI em cabines veiculares

É sabido que, atualmente, a maioria das pessoas ocupa mais de uma hora por dia dentro de seu carro com o sistema de refrigeração/recirculação de ar ligado, o que torna este, um ambiente climatizado. Desse modo, é preciso atenção em relação à qualidade do ar no interior dos automóveis, uma vez que a poluição em ambientes interiores pode causar malefícios severos à saúde humana.

Diversos são os fatores que influenciam a QAI em automóveis, sendo os mais importantes: a renovação de ar interno; o modo de condicionamento de ar utilizado; a velocidade do veículo quando o modo escolhido é o de renovação do ar; o conforto térmico correlacionado com a eficiência do sistema de climatização; a frequência de manutenção do

sistema, o que remete principalmente ao período de troca, limpeza e higienização do filtro da cabine; a qualidade do ar externo; a composição dos materiais internos; a limpeza, higienização e lavagens internas e externas do próprio veículo; assim como, os hábitos dos proprietários e ocupantes, como comer, fumar, utilizar desodorizantes/aromatizantes e se perfumar no habitáculo do mesmo.

Uma das funções inerentes ao sistema de ar condicionado automotivo é manter o conforto térmico do ambiente. No entanto, esse é um processo significativamente complexo, visto que em um automóvel há um grande índice de radiação solar, um isolamento extra por causa dos bancos, grandes variações na temperatura com processos de resfriamento e aquecimento rápidos e, além disso, as saídas de ar são minúsculas pois tanto o sistema de climatização, quanto o próprio veículo possuem um ótimo sistema de vedação (SANTOS, 2005).

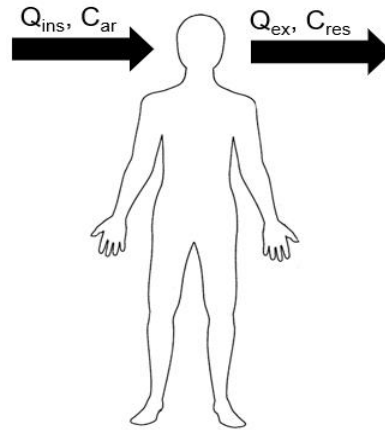
A renovação de ar e a taxa de ventilação de um veículo, influenciadas pela sua velocidade (quando em movimento), as configurações do sistema e as posições das janelas são fatores importantes para estimar a exposição de poluentes atmosféricos no interior do veículo (OTT; KLEPEIS; SWITZER, 2008).

A norma ASHRAE 62 determina que a taxa de ventilação de ar em ambientes interiores deve ter uma vazão de 7 litros por pessoa (ASHRAE, 1989), sendo esta, importante para eliminar odores e para manter os níveis de CO₂ dentro de limites aceitáveis, com uma concentração máxima de 1.000 ppm (ANVISA, 2003). No entanto, não é o que normalmente acontece na prática.

É válido ressaltar que os ocupantes do veículo possuem, evidentemente, influência na concentração de CO₂ no habitáculo do veículo. Esse residual gerado pelos mesmos pode ser calculado, uma vez que é conhecido o percentual inalado e exalado durante a respiração em termos de concentração de CO₂, sendo respectivamente 0,04% e 3,6% (GUYTON; HALL, 2006).

Desse modo, levando-se em consideração que, de acordo com suas exigências metabólicas, um adulto tem 12 respirações por minuto e um volume corrente de 500 ml em suas vias, logo é possível obter a sua ventilação pulmonar por minuto, que é resultado da seguinte conta: $12 \times 500 \text{ ml} = 6 \text{ litros}$ (KANNEBLEY, 1973). A Figura 10 demonstra o balanço volumétrico da respiração humana e aponta as variáveis envolvidas no processo, em que Q_{ins} é a vazão de ar inspirada, C_{ar} a concentração de ar inspirada, Q_{exp} a concentração de ar expirada e C_{res} a concentração de ar respirada.

Figura 10 - Balanço volumétrico de uma respiração humana.



Fonte: Elaborado pela autora.

A partir dos dados supracitados, a contribuição dos ocupantes dos veículos pode ser calculada em termos da concentração de CO_2 contida na vazão de ar exalada pelos mesmos, de tal forma que:

$$Q_{exp} = Q_{ins} \cdot \Delta(CO_2)$$

$$Q_{exp} = Q_{ins} \cdot \Delta(C - C_0)$$

$$Q_{exp} = 6 \frac{L}{min} \cdot (3,6\% - 0,04\%)$$

$$Q_{exp} = 6 \frac{L}{min} \cdot (0,0356)$$

$$Q_{exp} = 0,2136 \frac{L_{CO_2}}{min}$$

Diante do dado encontrado e de posse do volume do veículo a ser estudado, é possível encontrar o volume gerado pela respiração humana e sua contribuição no teor de CO_2 acumulado no interior do veículo. De tal modo que:

$$\Delta C_{CO_2} = \frac{Q_{exp}}{V_{carro}}$$

Este valor é importante, uma vez que estimativas como esta podem ser fruto de estudos que tenham a finalidade de orientar a fabricação de veículos e meios de transporte em geral, que sejam capazes de fornecer uma taxa de renovação de ar adequada e um sistema de climatização que seja eficiente em expelir altas concentrações de CO_2 .

2.5.1 Estudos realizados sobre a QAI em veículos

Quadros et al. (2008) realizaram um estudo para avaliar a qualidade do ar em veículos automotivos e ônibus de transporte público, em termos de concentração de CO_2 . Esses autores utilizaram três veículos de pequeno porte, de diferentes marcas, variando a taxa de ocupação e os tipos de ventilação utilizados, um ônibus de transporte público urbano com janelas abertas e

um ônibus interestadual com sistema de ar condicionado acionado. A concentração de dióxido de carbono nestes foi medida através de um aparelho portátil de leitura direta e diante dos fatos, eles alegaram que o sistema de climatização veicular além de não proporcionar uma renovação de ar eficiente no ambiente interno, provoca níveis de concentração de CO₂ bastante elevados dentro do automóvel.

Outro estudo desenvolvido por Ott, Klepeis e Switzer (2008), teve como objetivo principal fornecer novos dados sobre as taxas de ventilação de veículos a motor, tanto em condições estacionárias, quanto em movimento, incluindo experiências e medições de concentração de fumaça de cigarro no interior do veículo. Para tanto, estudaram os fatores que afetam as taxas de ventilação e as concentrações interiores de quatro veículos, quando um cigarro foi fumado no compartimento de passageiros. Tais autores usaram três abordagens básicas: fixaram a quantidade de gases traçadores liberados no compartimento de passageiros, os quais se tornaram bem misturados e causaram uma queda de concentração com o tempo; presenciaram cigarros fumados por um fumante no interior do veículo e emitiram gás traçador em taxas de emissão controladas, para determinar os parâmetros do veículo.

Os estudos dos veículos em movimento, foram realizados em vias longas com tráfego mínimo durante o dia, em que era possível dirigir a uma velocidade constante por períodos de tempo adequados. As concentrações de fundo foram medidas antes e depois de cada emissão da fonte.

Diante disso, concluíram que as taxas de concentrações de partículas dentro de carros com fumante, tornam-se extremamente altas com o fechamento de janelas e acionamento do ar condicionado, o que reflete risco grave à saúde dos ocupantes do mesmo. Além disso, atestaram que a taxa de renovação do ar é relevante devido as concentrações causadas por fontes internas e pelo o que chamaram de "efeito abrigador" do veículo, que são as substâncias tóxicas que se infiltram de fora para dentro do veículo.

O resultado do estudo supracitado chama atenção para a influência dos hábitos dos proprietários e ocupantes do veículo. Não só o hábito de fumar torna-se relevante para a manutenção da boa qualidade do ar em automóveis, a falta de higienização do veículo e a ausência da manutenção periódica no sistema de climatização, bem como o hábito de comer dentro do veículo, por exemplo, são fatores que podem provocar o surgimento de patógenos nos filtros de cabine do sistema.

Um estudo realizado no Rio de Janeiro, por Oliveira et al. (2014), identificou espécies de ácaros nos sistemas de refrigeração de 36% dos cinquenta automóveis avaliados. Ao fim do estudo, chegou-se à conclusão que o consumo de alimentos dentro do carro apesar de

influenciar no aparecimento destes, tem uma fraca relação, já a falta de manutenção do sistema obteve correlação maior com os veículos afetados pelas espécies encontradas.

A manutenção dos sistemas de ar condicionado automotivo é crucial, uma vez que prolonga a vida útil do equipamento, evita quebras reduzindo os gastos com trocas de peças e, o mais importante, mantém os aparelhos limpos e evita a concentração de ácaros, fungos, mofos e bactérias, contribuindo de tal maneira para a manutenção do ar interno puro (SOARES, 2009).

Além disso, sem as devidas manutenções periódicas a eficiência do aparelho de ar condicionado é reduzida, o que dificulta a filtragem do ar externo, quando utilizado no modo de renovação do ar, expondo dessa forma o interior do veículo e seus ocupantes aos poluentes advindos do exterior.

Atualmente, os manuais dos automóveis trazem informações, conselhos e avisos importantes, que auxiliam o proprietário a usufruir, por completo, as qualidades técnicas do seu veículo, para isso trazem instruções para segurança, bom estado do veículo e para a proteção do meio ambiente (FIAT, 2013).

No que concerne ao sistema de climatização, os mesmos também descrevem os instrumentos, itens e acessórios, indicam com quantos quilômetros deve ser feita a limpeza do sistema e eventual substituição do filtro da cabine e dão recomendações a respeito do seu uso, sobre qual modo escolher para que mantenham a segurança do veículo e atinjam melhores condições de conforto térmico e QAI (FIAT, 2013), porém dificilmente os proprietários leem o manual de uso e manutenção do seu carro.

É sabido que ao escolher o modo de condicionamento de ar, o condutor do veículo e os demais usuários estão, também, influenciando nos parâmetros de QAI do mesmo. Uma vez que o sistema de renovação permite a entrada de ar externo, esse modo é recomendado para quando se transita em locais com pouca ou nenhuma poluição do ar atmosférico.

Caso contrário, é imprescindível que seja utilizado o sistema de recirculação do ar, o qual permite condições melhores de qualidade do ar interno nessas circunstâncias, impossibilitando a entrada dos poluentes externos e a troca gasosa entre o interior e o exterior. Esta relação merece atenção, uma vez que o sistema de troca se torna complexo devido as variáveis ambientais.

Chan e Chung (2003) fizeram um estudo com o objetivo de compreender os vários efeitos causados ao ar interior de um veículo devido a penetração de poluentes externos. Para isso, analisaram a relação interior-externo de óxidos de nitrogênio (NOx) e monóxido de carbono (CO), poluentes atmosféricos, para um veículo sob diferentes condições de condução, leia-se diferentes tipos de ambientes como rodovias, estradas de zonas rurais, zonas urbanas e

túneis, e sob diferentes modos de ventilação, sendo as consideradas: a ventilação natural (janelas abertas); ar condicionado com entrada de ar fresco (renovação de ar) e ar condicionado com recirculação de ar. Os mesmos entenderam que a relação estudada não depende apenas do modo de ventilação utilizado, mas também do ambiente de condução, uma vez que o mesmo sistema de ventilação apresenta variações em ambientes de condução diferentes. Além disso, concluíram não existir um padrão ordenado de características na relação interior-exterior e isso se dá devido às fontes de poluição atmosférica, a fatores meteorológicos e aos veículos circundantes.

A emissão de COVs é um motivo de preocupação no que diz respeito à poluição de ambientes interiores. Em veículos recém-fabricados, por exemplo, as concentrações de compostos orgânicos voláteis encontram-se em níveis mais altos que os ambientes externos, o que pode levar a uma má QAI (FILHO, 2008). Segundo Yoshida (2010), hidrocarbonetos aromáticos, bem como hidrocarbonetos alifáticos, os quais se difundem de materiais internos em cabines automotivas, são os compostos que mais contribuem para a poluição do ar interior.

Yoshida (2010) buscou estimar sete hidrocarbonetos (tolueno, etilbenzeno, o-xileno, m-xileno, p-xileno, estireno e 1,2,4-trimetilbenzeno) absorvidos por um condutor de automóvel através da avaliação da sua toxicocinética por inalação em ratos. A motivação do estudo se deu, pois, a exposição a estas substâncias causa irritação das membranas mucosas e das vias respiratórias, e, ainda, depressão do sistema nervoso central em humanos e animais.

Como resultados, foram obtidas quantidades absorvidas em humanos em concentrações reais em cabines de automóveis sem ventilação, as quais foram extrapoladas pelos resultados obtidos em ratos. Em suas estimativas, as quantidades absorvidas estimadas para um percurso de duas horas de duração foram as seguintes (por 60 kg de peso corporal): 30 mg de tolueno, 10 mg para etilbenzeno, 6 mg para o-xileno, 8 mg para m-xileno, 9 mg para p-xileno, 11 mg para estireno e 27 mg para 1,2,4-trimetilbenzeno.

Da mesma forma, Yoshida (2012) afirma que em uma cabine onde a poluição do ar foi marcada, a quantidade absorvida de estireno (654 mg por duas horas em uma cabine com uma concentração máxima interior de 675 mg/m^3) foi estimado como sendo muito superior ao de outras substâncias. Esta quantidade (654 mg) foi de aproximadamente 1,5 vezes a dose diária tolerável de estireno (7,7 mg/kg por dia) recomendada pela Organização Mundial da Saúde, o que é bastante preocupante.

Existem fatores, particulares do proprietário do veículo, que são atenuantes para elevar a concentração de COVs totais em automóveis, como o hábito de se perfumar dentro do veículo e a utilização de desodorizantes/aromatizantes. Estes últimos, apenas neutralizam os odores e

nada fazem a respeito dos poluentes internos, por vezes poluem ainda mais o ambiente. A combinação de baixa taxa de ventilação e a presença de fontes de químicos, como o desodorizante, resulta em concentrações elevadas de COVs (por exemplo, benzeno, tolueno, formaldeído) (ZHANG; SMITH, 2003).

Brown e Cheng (2005) buscaram compreender outros fatores, além destes, que afetam os níveis de COVs em automóveis, especialmente a idade do carro, tipo, origem e manuseio do produto. Dois cenários específicos foram investigados: três novos carros foram avaliados quanto aos níveis de COVs em seu ponto de venda na Austrália até 20 meses depois; e sete novos carros, no seu ponto de importação/exportação, foram avaliados quanto aos níveis de COVs, formaldeído e isocianatos.

Ambos constataram altas concentrações de COVs, em nove dos dez carros novos investigados, mais de quarenta tipos de substâncias para cada carro, especialmente aqueles recém-chegados no mercado. O decaimento das concentrações totais de COVs foi considerado exponencial nos carros pós-venda, em aproximadamente 20% por semana, com uma meta de COVT ideal de ar interior sendo alcançada em meses.

Além disso, concluíram que a decomposição de COV nos carros exportados pode ser muito mais lenta, já que os carros permanecem bem vedados, mas os níveis de formaldeído e isocianato nesses carros foram baixos e não detectáveis. Níveis elevados de benzeno também foram observados em alguns carros, provavelmente, provenientes de vazamento de tanque de combustível nas cabines.

2.6 Efeitos a saúde causados pela exposição ao CO₂

O CO₂ é visto como um gás de toxicidade mínima por inalação e seus principais efeitos à saúde estão relacionados com a ação de um simples asfixiante, que reduz ou desloca o oxigênio no ar respirável, de forma a causar sintomas como dores de cabeça e sonolência derivados de uma exposição moderada, bem como de exposição a níveis mais altos como o aumento do débito cardíaco, pressão arterial elevada e arritmias ou até mesmo morte, uma vez que respirar o ar esgotado de oxigênio ocasionado por concentrações extremas de CO₂ pode levar à morte por asfixia (USA, [20--]).

A concentração de CO₂ é fundamental para o bom funcionamento de sistemas de climatização artificial, bem como de sistemas de ventilação natural (CARMO; PRADO, 1999). O Quadro X, aponta as principais concentrações e os efeitos ocasionados a saúde decorrente da exposição a algumas concentrações de CO₂.

Quadro 2 – Faixas de concentrações de CO₂ e seus principais efeitos à saúde.

Concentração de CO₂	Efeitos causados
5000 ppm	Limite de Exposição Permissível (PEL) da OSHA e Limite de Limite ACGIH Valor (TLV) para exposição de 8 horas.
10.000 ppm	Tipicamente sem efeitos, possível sonolência.
15.000 ppm	Estimulação respiratória leve para algumas pessoas.
30.000 ppm	Estimulação respiratória moderada, aumento da frequência cardíaca e do sangue.
40.000 ppm	Imediatamente perigoso para a vida ou a saúde.
50.000 ppm	Estimulação respiratória forte, tontura, confusão, dor de cabeça, falta de respiração.
80.000 ppm	Visão reduzida, sudorese, tremor, inconsciência e possível morte.

Fonte: USA, [20--].

Apesar de estar comprovado que o CO₂ precisa estar em altas concentrações no ambiente interior e precisar de longo tempo de exposição para causar efeitos adversos à saúde, não apresentando danos significativos quando em situações contrárias, o controle das suas concentrações internas continua sendo de extrema importância.

Desta forma, o interesse em seu monitoramento está no fato de que a concentração de CO₂ em um ambiente fechado, com ou sem climatização artificial, tornou-se um indicador de QAI, uma vez que é um ótimo indicador da taxa de ventilação e é utilizado para determinar se há acúmulo de outros contaminantes no ambiente, ou seja, é também indicador da renovação do ar ambiente (CARMO;PRADO, 1999).

2.7 Efeitos à saúde causados pela exposição aos COVs

O ar atmosférico possui influência na poluição química em ambientes interiores devido à existência das infiltrações, ainda assim a concentração de alguns COVs é maior nestes últimos do que no ar externo (QUADROS; LISBOA, 2010). Isso acontece porque as fontes internas são mais influentes, principalmente quando existem materiais, objetos ou móveis novos no recinto, os quais contém maiores taxas de emissão (QUADROS; LISBOA, 2010).

Os níveis de COVs no ar externo geralmente limitam-se a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ao tempo que os ambientes interiores possuem uma grande faixa de variação das concentrações destes, abrigam concentrações que variam desde poucos microgramas a miligramas por metro cúbico (mg/m^3) (APA; LRA, 2009).

Diversas são as fontes internas de COVs que contribuem para concentrações significativamente maiores destes em ambientes interiores do que no ar atmosférico, a exemplo tem-se: tintas (texanol, etilenoglicol, pineno, butoxietoxi etanol); diluentes de tintas (C7-C12 alcanos); decapantes (cloreto de metileno); adesivos (benzeno, alquilbenzenos); substâncias para calafetar (cetonas, ésteres, glicóis); produtos de limpeza (2-butoxietanol, limoneno, 2-butanona); alimentos fritos (1,3-butadieno, acroleína, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos); fumo (nicotina, aldeídos, benzeno, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos); desodorizantes/aromatizantes (p-diclorobenzeno); moldes (sesquiterpenos); pesticidas (clorpirifós, diazinon, diclorvós) e etc. (ZHANG; SMITH, 2003).

Assim sendo, é relevante entender, previamente, a influência da habitação dos seres humanos em ambientes fechados, sob as variadas concentrações de diversos poluentes do ar interior, na hora de traçar estratégias de mitigação adequadas (KRUZA; CARSLAW, 2019).

Um estudo realizado no Japão por Jinno et al. (2007), por exemplo, investigou a taxa de emissão de COVs e compostos carbonílicos em trinta purificadores de ar e desodorizantes utilizados em residências. A emissão de compostos orgânicos voláteis totais (COVT) destes produtos variaram do nível indetectável (< 20 microgramas / unidade / h) para 6,900 microgramas / unidade / h. A taxa média de emissão de COVs dos purificadores foi de 1.400 microgramas / unidade / h e a dos desodorizantes foi de 58 microgramas / unidade / h, indicando que as fragrâncias destes produtos são responsáveis pela maior parte das emissões de COVT nos ambientes em questão. Concluíram, de tal modo, que o uso diário de produtos domésticos pode impactar substancialmente a QAI.

Os sintomas que se referem à exposição de COVs são cansaço, dores de cabeça, tonturas, fraqueza, sonolência, irritação dos olhos, nariz, garganta e pele, além da perda de coordenação, danos no fígado, no rim e no sistema nervoso central. (CARMO; PRADO, 1999). A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos¹ ainda cita a falta de ar, declínios nos níveis de colinesterase, vômitos, epistaxe, distúrbios visuais e o comprometimento da memória como sintomas ocasionados por tal exposição.

¹ Disponível em: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/volatile-organic-compounds-impact-indoor-air-quality>

É válido salientar que há um efeito de sinergia entre diferentes tipos de compostos, o qual se caracteriza pela reação entre COVs, podendo agravar os efeitos causados pela exposição individual dos gases isolados (CARMO; PRADO, 1999). Todavia, a proporção dos danos dependerá de fatores como a concentração a qual foram expostos os habitantes, o tempo de duração e, se houver, a frequência de exposição.

Alguns COVS requerem atenção especial, dada a frequência e concentrações elevadas aos quais são encontrados quando comparados a outros. O benzeno (C₆H₆), por exemplo, é um composto presente significativamente em ambientes fechados e merece tal atenção. É um COV cancerígeno, bastante perigoso, exalado pela fumaça do cigarro (tabaco), pelo escapamentos de automóveis e por combustíveis ainda não queimados, uma vez que é utilizado como complemento da gasolina (SCHULZE et al., 2017).

O Quadro 3 apresenta as informações características do benzeno presentes no seu Cartão de Segurança Química Internacional (ICSC), elaborado pela Organização Internacional do Trabalho (OIT) e a Organização Mundial de Saúde (OMS).

Quadro 3 - Informações características do benzeno.

EXPOSIÇÃO E EFEITOS NA SAÚDE	
<p>Rotas de exposição</p> <p>A substância pode ser absorvida pelo corpo por inalação, através da pele e por ingestão.</p> <p>Efeitos da exposição a curto prazo</p> <p>A substância é irritante para os olhos, pele e trato respiratório. Se este líquido for engolido, a aspiração para os pulmões pode resultar em pneumonite química. A substância pode causar efeitos no sistema nervoso central. Isso pode resultar na redução da consciência. A exposição muito acima do OEL pode causar inconsciência e morte. Se ingerido, a substância entra facilmente nas vias aéreas e pode resultar em pneumonite por aspiração.</p>	<p>Risco de inalação</p> <p>Uma contaminação prejudicial do ar pode ser alcançada muito rapidamente com a evaporação desta substância a 20 °C.</p> <p>Efeitos da exposição a longo prazo ou repetida</p> <p>A substância desengordura a pele, o que pode causar ressecamento ou rachaduras. A substância pode ter efeitos no sistema nervoso central e no sistema imunológico. A substância pode ter efeitos na medula óssea. Isso pode resultar em anemia. Esta substância é cancerígena para os seres humanos. Pode causar danos genéticos hereditários às células germinativas humanas. Ver notas.</p>
LIMITES DE EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL	
<p>TLV: 0,5 ppm como TWA; 2,5 ppm como STEL; (pele); A1 (carcinogêneo humano confirmado); BEI emitido.</p> <p>UE-OEL: 3,25 mg / m³, 1 ppm como TWA; (pele).</p> <p>MAK: categoria carcinogênica: 1; grupo mutagênico de células germinativas: 3A; absorção cutânea (H)</p>	
MEIO AMBIENTE	

A substância é tóxica para organismos aquáticos. A substância pode causar efeitos a longo prazo no ambiente aquático.

NOTAS

O uso de bebidas alcoólicas aumenta o efeito prejudicial.

Dependendo do grau de exposição, o exame médico periódico é sugerido.

O aviso de odor quando o valor limite de exposição é excedido é insuficiente.

O benzeno causa leucemia mieloide aguda / leucemia não linfocítica aguda. Além disso, uma associação positiva foi observada entre a exposição ao benzeno e leucemia linfocítica aguda, leucemia linfocítica crônica, mieloma múltiplo e linfoma não-Hodgkin.
--

Fonte: ICSC, c2017².

Ainda no que se refere aos COVs que merecem maior atenção, o formaldeído (HCOH) é um dos compostos carcinogênicos mais fáceis de se medir em ambientes interiores, pois é possível encontrá-lo em concentrações bastante elevadas. O mesmo possui vasta aplicação no mercado e isto se torna um agravante para suas elevadas concentrações nesses ambientes.

É empregado na composição de reveladores fotográficos, na fabricação de celulose, de tinta para impressoras, vidros, explosivos, na produção de pesticidas, germicidas e fungicidas e, além disso, é um ingrediente na preparação de antitranspirantes e desodorizantes/aromatizantes, bem como em tintas e produtos para o cabelo (JESUS et al., 2013).

Um estudo nos Emirados Árabes Unidos, realizado por Yeatts et al. (2012), de base populacional sobre saúde e poluição do ar em ambientes interiores, quantificou o formaldeído em domicílios e verificou correlações deste com sintomas respiratórios. Além disso, evidenciou uma relação dos sintomas neurológicos entre os participantes que utilizaram incenso duas ou mais vezes por semana e aqueles que quantificaram as concentrações desta substância em suas casas.

O Quadro 4 apresenta as informações características do formaldeído presentes no seu ICSC.

Quadro 4 - Informações características do formaldeído.

EXPOSIÇÃO E EFEITOS NA SAÚDE

² ICSC nº 0015. Preparado por um grupo internacional de especialistas em nome da OIT e da OMS, com a assistência financeira da Comissão Europeia. © OIT e OMS 2017.

<p>Rotas de exposição</p> <p>A substância pode ser absorvida pelo corpo por inalação.</p> <p>Efeitos da exposição a curto prazo</p> <p>A substância é gravemente irritante para os olhos e trato respiratório. A inalação de altas concentrações pode causar edema pulmonar, mas somente após efeitos corrosivos iniciais nos olhos e no trato respiratório superior.</p>	<p>Risco de inalação</p> <p>Uma concentração prejudicial deste gás no ar será atingida muito rapidamente pela perda de contenção.</p> <p>Efeitos da exposição a longo prazo ou repetida</p> <p>A inalação repetida ou crônica do vapor pode causar inflamação crônica do trato respiratório superior. Contato repetido ou prolongado pode causar sensibilização da pele. Esta substância é cancerígena para os seres humanos.</p>
LIMITES DE EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL	
<p>TLV: 0,1 ppm como TWA; 0,3 ppm como STEL; (SEN); A1 (carcinogêneo humano confirmado).</p> <p>MAK: 0,37 mg / m³, 0,3 ppm; categoria de limitação de pico: I (2); Categoria de carcinogênicos: 4; grupo de risco de gravidez: C; grupo mutagênico de células germinativas: 5; sensibilização da pele (SH)</p>	

Fonte: ICSC, c2017³.

Diante o exposto, vários são os danos causados pelos COVs na saúde humana e, portanto, merecem que sejam tomadas medidas e precauções afins de removê-los ou reduzir as suas concentrações para níveis aceitáveis, dentro dos ambientes fechados. A existência de regras e leis que regulamentem a fabricação de móveis, tintas e produtos domésticos em geral ajudam a limitar a exposição aos COVs, a exemplo das tintas à base de água e dos produtos que apresentam baixas concentrações destes (SCHULZE et al., 2017).

Além disso, uma ventilação adequada que promova a renovação do ar pode ajudar a diminuir ou até mesmo remover os índices de COVs internos. Sistemas de ventilação com sensores estão sendo fabricados para que regulem a velocidade de ventilação de acordo com a necessidade de remoção dos COVs em ambientes internos, além disso sistemas de ar condicionados têm sido projetados para absorver e eliminar esses compostos (SCHULZE et al., 2017).

2.8 Controle da poluição por COVs

2.8.1 Técnicas de medição de COVs

Os aparelhos que quantificam e identificam os COVs possuem sensores que detectam moléculas de inúmeras substâncias em um ambiente e mandam sinal elétrico com intensidade

³ ICSC nº 0275. Preparado por um grupo internacional de especialistas em nome da OIT e da OMS, com a assistência financeira da Comissão Europeia. © OIT e OMS 2017.

equivalente ao nível de concentração das mesmas no local, podendo medir um único ou a soma dos compostos ali existentes (ROSOLINO, 2012).

Desse modo, os detectores que emitem sinal para qualquer substância são chamados de universais, os seletivos são capazes de detectar compostos com propriedades específicas, já os chamados específicos, identificam apenas substâncias que são formadas por dado elemento ou grupo funcional (ROSOLINO, 2012).

Estes aparelhos são caracterizados, principalmente, pela sua: sensibilidade, que é a sua eficiência em identificar variadas concentrações; seu limite inferior, que é a menor concentração de substância a qual o detector consegue emitir sinal; e a sua velocidade de resposta, que é o tempo do contato com a substância e o sinal elétrico emitido (ROSOLINO, 2012).

Os sensores catalíticos, uma tecnologia utilizada a mais de cinquenta anos para detecção de emissões gasosas, tem por base de funcionamento o calor gerado pela oxidação de um gás, em que o sensor capta o aumento da temperatura em um sinal analógico, o qual irá alimentar um microprocessador presente no instrumento de medição (ENERGÉTICA, 2014). Uma desvantagem inerente a estes equipamentos é o risco de envenenamento do catalisador, uma vez que pode perder eficiência denunciando o mau funcionamento do aparelho, no entanto são equipamentos fáceis de manusear, de calibrar e possuem rápido tempo de reposta (ENERGÉTICA, 2014).

Uma outra técnica bastante utilizada para medição específica de COVs é a fotoionização, que utiliza a alta energia das lâmpadas ultravioletas para fragmentação das moléculas dos hidrocarbonetos, gerando radicais com determinada carga elétrica, os quais irão se descarregar nos eletrodos de um condensador e gerar uma corrente elétrica equivalente a concentração existente na amostra analisada (ENERGÉTICA, 2014). A mesma possui como vantagem alta velocidade de resposta, boa precisão e sensibilidade apurada no que diz respeito a pequenas concentrações de COVs e como desvantagem necessitam de limpeza periódica, pois suas lâmpadas entram em contato direto com o gás (ROSOLINO, 2012).

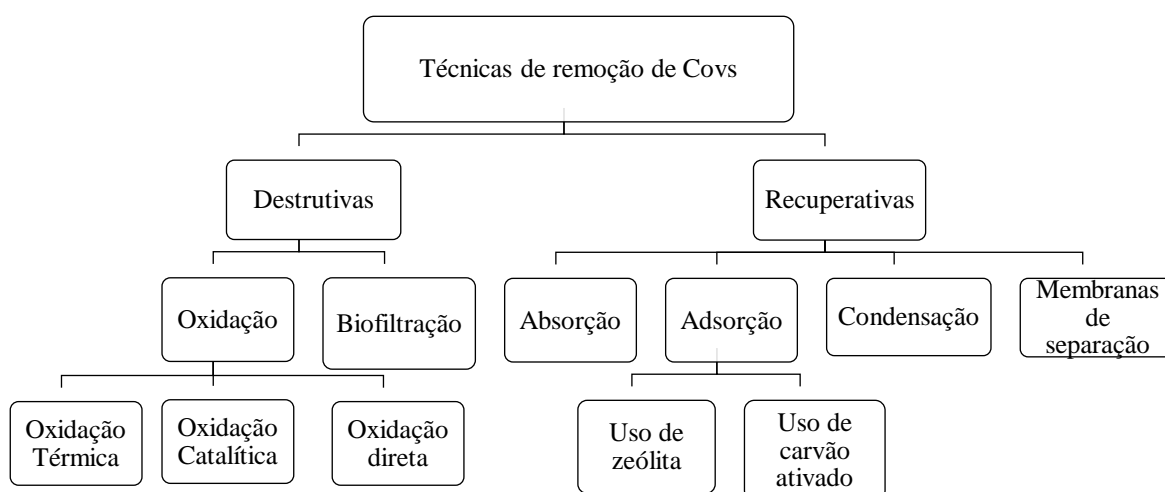
Além destas, podem ser utilizados: a espectrometria de massa, que faz análise química, quantifica e qualifica os gases da amostra; o método calorímetro, usado em laboratórios em que a cor denuncia o gás existente na amostra; e a cromatografia gasosa, que segrega os elementos presentes no composto analisado; entre outros (ROSOLINO, 2012).

2.8.2 Técnicas de remoção de COVs

De maneira geral, o controle na emissão de COVs através da modificação de costumes, troca de produtos e eficientes sistemas de climatização, com taxas de ventilação adequada para diluição dos poluentes químicos, são as alternativas mais acessíveis para os ambientes interiores. Porém, nem sempre são suficientes ou, nem sempre é possível realizá-las, especialmente quando há materiais intrínsecos ao ambiente que exalam concentrações consideráveis de COVs, a exemplo das cabines de veículos. Convém-se, portanto, recorrer às técnicas de remoção destas substâncias.

Um organograma é apresentado na Figura 11, com as técnicas existentes para remoção e controle dos COVs. Como se pode ver, estas dividem-se em: técnicas destrutivas, as quais incluem os diferentes tipos de oxidação (térmica, catalítica e a direta) e, também, a digestão dos compostos por microrganismos pela biofiltração; e as técnicas recuperativas, que removem os COVs do ambiente de forma a recuperar, armazenar e dar, a estes, um tratamento posterior (KHAN;GOSHAL, 2000).

Figura 11 - Classificação das técnicas existentes para remoção de COVs.



Fonte: Adaptado de KHAN; GHOSHAL, 2000.

Dentre as técnicas apresentadas, a adsorção e a oxidação catalítica são as técnicas que mais se aplicam ao processo de filtragem dos sistemas AVAC e serão brevemente descritas a seguir. Os filtros utilizados nesses sistemas têm a finalidade de remover os poluentes do fluxo de ar, limitando os danos causados à saúde e o desconforto das pessoas que habitam o local (CHAVES, 2016). Dessa forma, a técnica de adsorção é um processo composto por duas fases, em que na primeira há a adsorção dos COVs por um filtro, geralmente constituído de carvão ativado ou zeólitas, e a segunda há a dessorção, na qual tem-se a recuperação dos COVs impregnados e a regeneração do filtro (ALVES, 2005). As vantagens desta técnica, concentram-se na capacidade de recuperação dos compostos poluentes (em caso de utilização de solventes

de alto custo) e em ser aplicável a uma grande faixa de concentrações de COVs (CATUNDA, 2016).

Já a técnica de oxidação catalítica, através da queima acelerada por um catalisador, causa a destruição total dos COVs. Esta, possui baixo custo de operação, porém apresenta como desvantagem, problemas com a disponibilidade dos catalisadores e a redução ou perda da eficiência da atividade catalítica (SILVA; ROCHA, 2011). Além disso, pode causar a formação de compostos mais leves como os compostos nitrogenados, o monóxido de carbono e possíveis emissões secundárias (ALVES, 2005).

Dentre os métodos de oxidação catalítica existentes, a oxidação fotocatalítica, um processo oxidativo avançado, vem atraindo grande interesse por ser mais sustentável a longo prazo (NOGUEIRA; JARDIM, 1997). Este processo é baseado na formação de radicais hidroxila (HO) que podem reagir aos COVs e possui como princípio de funcionamento, a ativação de um semicondutor (geralmente o TiO_2) por luz solar ou artificial (NOGUEIRA; JARDIM, 1997). Desse modo, nesta técnica, o filtro fotocatalítico oxida o COV e o transforma em água e compostos simples de carbono (SILVA; ROCHA, 2011).

Além destas, uma outra técnica que vem ganhando ascensão em estudos na última década é a biofiltração, dado que esta possui vantagens importantes quando comparada com as demais (KHAN; GHOSHAL, 2000). Isso porque, possui condições de operação favoráveis e seu processo de descontaminação biológica não transfere a poluição química para outro ambiente ou para o ar externo, e, além disso, é um método efetivo, principalmente, quando os odores e os COVs estão presentes em níveis de concentrações mais baixos, na faixa do ppm por exemplo (KHAN; GHOSHAL, 2000).

2.9 Aspectos legais e normativos

A primeira norma jurídica a respeito da qualidade do ar no país foi a Resolução CONAMA nº 5, de 15 de junho de 1989, a qual dispõe a respeito do Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar (PRONAR).

Posteriormente, foi estabelecida a Resolução CONAMA 03/1990 a qual foi atualizada através da Resolução CONAMA Nº 491, de 19 de novembro de 2018 que dispõe sobre os padrões de qualidade do ar. Apesar dos avanços demonstrados a respeito da qualidade do ar, no início da década de 90 ainda não haviam vestígios de normas que regulamentassem a QAI.

A portaria nº 3.523, de 28 de agosto de 1998, do Ministério da Saúde, a qual estabelece medidas relacionadas aos procedimentos de averiguação visual das condições de limpeza, eliminação de sujeiras, bem como a manutenção do sistema de climatização, com o objetivo de

assegurar uma boa qualidade do ar em ambientes interiores e prevenir os riscos à saúde associados a estes, foi a primeira medida tomada no âmbito legal a respeito da poluição em ambientes interiores no Brasil.

No entanto, valores de referência para os fatores que influenciam a QAI nestes ambientes só foram estabelecidos em 16 de janeiro de 2003, pela Resolução Nº 09 da ANVISA.

A mesma estabelece que:

- para contaminação microbiológica, o valor máximo recomendável é ≤ 750 unidades formadoras de colônias/m³ de fungos, para a relação I/E $\leq 1,5$, onde I é a quantidade de fungos no ambiente interior e E é a quantidade de fungos no ambiente exterior;
- para contaminação química, o valor máximo recomendável para dióxido de carbono, como indicador de renovação do ar, é ≤ 1.000 ppm e para os aerodispersóides, como indicador de grau de pureza do ar e limpeza do ambiente, é ≤ 80 mg/m³;
- para o verão, uma faixa recomendável das temperaturas de bulbo seco variando de 23°C a 26°C e, para o inverno, determina uma faixa recomendável de operação entre 20°C e 22°C;
- para o verão, uma umidade relativa entre 40% a 65%, já para o inverno, a faixa recomendável de operação estabelecida foi de 35% a 65%;
- a taxa de renovação do ar adequada para ambientes climatizados que será, no mínimo, de 27 m³/hora/pessoa. Em caso específico de ambientes com alta rotatividade de pessoas será de 17 m³/hora/pessoa.

A ANVISA, através da Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 252, de 16 de setembro de 2003, proíbe veementemente, em todo o território nacional, a fabricação, distribuição ou comercialização de produtos registrados pela própria, que sejam compostos por benzeno, o que se aplica aos odorizantes ou aromatizantes de ambientes internos.

Além disso, por meio da RDC nº 40, de 05 de junho de 2008, aprovou regulamento técnico que compreende os produtos saneantes domissanitários destinados à limpeza em geral e afins, destinados ao uso em objetos, tecidos, superfícies inanimadas e ambientes, em domicílios, veículos, indústrias e em locais ou estabelecimentos públicos ou privados.

No tocante à Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a mesma através da NBR 16401, a qual é particionada em três documentos, traz informações e regras a respeito dos

projetos de instalações de ar condicionado, sistemas centrais e unitários, dos parâmetros de conforto térmico e, ainda, da QAI em ambientes climatizados.

Na seção direcionada para o conforto térmico, a norma prevê parâmetros para ambientes climatizados capazes de provocar sensações aceitáveis em 80% ou mais dos ocupantes. Para isso, determina para o verão uma temperatura entre 22,5°C e 25,5°C com umidade relativa de 65%, bem como, 23,0°C a 26°C com umidade de 35%. Já para o inverno, indica temperatura entre 21°C e 23,5°C com umidade relativa de 60% e temperatura entre 21,5°C e 24,0°C com umidade relativa de 30%.

A terceira parte da NBR 16401, em seu anexo II, traz valores de caráter informativo a respeito da concentração máxima de alguns poluentes em ambientes climatizados, não sendo, portanto, obrigatória a sua fiscalização. Dentre as substâncias, aquelas que merecem maior atenção devido ao potencial de risco à saúde humana são: o monóxido de carbono, que apresenta um limite de 9 ppm⁴, o formaldeído com limite estabelecido em 27 ppb⁵, e o dióxido de carbono 3500 ppm⁶.

Além disso, a ABNT possui outras normas que ditam a respeito dos sistemas de climatização de ambientes interiores e a sua qualidade do ar, sendo elas: a NBR 15.848 para procedimentos e requisitos relativos as atividades de construção, reformas, operação e manutenção das instalações que afetem a QAI; a NBR 14.679 para execução de serviços de higienização nos sistemas de climatização; e a NBR 13.971 para manutenções programadas de sistemas de refrigeração, condicionamento de ar, ventilação e aquecimentos.

No que tange à segurança e medicina do trabalho, o antigo Ministério do Trabalho, no uso de suas atribuições, instituiu Normas Regulamentadoras de caráter obrigatório para as empresas públicas e privadas, para órgãos públicos de administração direta e indireta, e para os órgãos dos Poderes Legislativo e Judiciário, que possuam empregados regidos pelo regime da CLT (Consolidação das Leis do Trabalho).

De um total de 36 NRs, duas fazem menção aos parâmetros adequados de conforto térmico, QAI, bem como níveis aceitáveis de poluentes internos em ambientes fechados.

Diante disso, a NR-17 que possui como objetivo principal determinar parâmetros que proporcionem o máximo de conforto, segurança e desempenho eficiente, estipula que em locais de trabalhos onde são desenvolvidas atividades que exijam empenho intelectual e atenção

⁴ Com base na US EPA – Environmental Protection Agency – 2000 – National ambient air quality standards.

⁵ Com base na California Environmental Protection Agency – Office of Environmental Health Hazard Assessment 1999.

⁶ Com base na Health Canada – 1995 – Exposure guidelines for residential indoor air quality.

constantes, as condições de conforto devem ser: índice de temperatura efetiva entre 20°C e 23°C; velocidade do ar não superior a 0,75m/s; e umidade relativa do ar não inferior a 40%.

Já a NR-15, que rege sobre atividades e operações insalubres, estabelece valores limites de tolerância para agentes químicos, cuja insalubridade é caracterizada através de inspeção no local de trabalho considerando-se uma carga de trabalho de 48 horas semanais, aponta um limite de: 3900 ppm ou 7020 miligrama/m³ para o dióxido de carbono, o qual é caracterizado com grau mínimo de insalubridade; e de 1,6 ppm ou 2,3 miligrama/m³ para o formaldeído, sendo este caracterizado com grau máximo de insalubridade.

Ainda na NR-15, há um anexo exclusivo que regulamenta a exposição ocupacional ao benzeno. Os valores limites definidos refere-se à concentração média de benzeno no ar ponderada pelo tempo de 8 horas, correspondente a uma jornada de trabalho. Desse modo, aplica-se: o valor limite de 1,0 ppm para as empresas que produzem, transportam, armazenam, utilizam ou manipulam benzeno e aquelas por elas contratadas; e 2,5 ppm para as empresas siderúrgicas. Convertendo-se a concentração de benzeno de ppm para mg/m³, este anexo adota 1,0 ppm equivalente a 3,19 mg/m³ nas condições de 25° C, 101 kPa ou 1 atm.

Os limites de benzeno estabelecidos na NR-15 foi o controle mais próximo que a legislação brasileira chegou em termos de remediação de poluição por COVs, embora estabelecidos para o âmbito ocupacional. No entanto, é sabido que os COVs são potencialmente prejudiciais à saúde quando em ambientes internos, representando um risco evidente para os ocupantes do recinto. As legislações internacionais já reconhecem este fato e apresentam avanços significativos referente aos mesmos.

Desta forma, a Diretiva 2008/50/CE do Parlamento Europeu, de 21 de maio de 2008, referente à qualidade do ar ambiente e a um ar mais limpo na Europa, em seu anexo II, prevê para o benzeno no ar interior de uma zona ou aglomeração, um limiar de avaliação superior⁷ no valor de 3,5 µg/m³ e um limiar de avaliação inferior⁸ de 2 µg/m³.

De modo semelhante, a Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar condicionado (ASHRAE) a qual institui normas e diretrizes, em que os padrões são escritos sob regras administradas rigorosamente através do Instituto de Padrões Nacionais Americanos (ANSI), instituiu a ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2010. Esta norma

⁷ Limiar de avaliação superior é um nível abaixo em que a QAI pode ser avaliada combinando-se medições fixas, modelagem ou medições técnicas (EU, 2008).

⁸ Limiar de avaliação inferior é um nível abaixo em que a QAI pode ser avaliada somente com técnicas de modelagem e estimativas diretas (EU, 2008).

tem sido utilizada mundialmente como guia base para diversas operações e manutenções de sistemas AVAC (ALMEIDA, 2015).

A mesma determina orientações a respeito da melhoria da QAI, bem como especifica valores mínimos de ventilação e outras medidas que podem ser aplicadas ao se desenvolver uma QAI dentro de um limite aceitável para os ocupantes, minimizando assim os riscos à saúde. Além disso, limita a concentração e o tempo de exposição para alguns poluentes do ar interior, de maneira que:

- Formaldeído (HCOH): concentração limite de 0,1 mg/m³ (ou 0,081 ppm), com tempo de exposição máximo de 30 min; ou concentração limite de 55 µg/m³ para tempo limite de 1 hora e 9 µg/m³ para 8 horas.
- Benzeno (C₆H₆): concentração limite de 1300 µg/m³, com tempo de exposição máximo de 1 hora e 60 µg/m³ anualmente.
- Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COVT): afirma não ser possível dar orientações precisas a respeito dos COVT, uma vez que não há evidências suficientes de que as medições de COVT podem ser usadas para prever efeitos de saúde ou conforto.
- Compostos Orgânicos Voláteis: afirma que deve ser determinado por cada composto individual.

É válido ressaltar, que a ASHRAE (2013) chama a atenção para que se tenha o conhecimento de que poluentes internos não listados, também podem causar IQA inaceitável com relação ao conforto ambiental, odores e a saúde. Quando isto acontecer, a mesma recomenda, se possível, buscar referências a outras diretrizes ou reavaliar a literatura toxicológica e epidemiológica relevante, para que se possa obter limites de concentrações e de tempos de exposição aceitáveis.

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização dos veículos estudados

Os veículos objetos do presente estudo foram definidos inicialmente em função dos seus respectivos anos de fabricação. Foram escolhidos quatro carros particulares de pequeno porte, com fabricação entre os anos de 2004 e 2017.

- Carro 1: Ford Fiesta, modelo Hatch 1.0, ano 2004.
- Carro 2: Fiat Punto, modelo Essence 1.6 DL, ano 2011.
- Carro 3: Hyundai, modelo Hb20 1.0, ano 2013.
- Carro 4: Renault Sandero Expr. 10, ano 2017.

3.2 Equipamentos e método de medição utilizados

Com o intuito de avaliar a QAI em automóveis sob os efeitos de um sistema de climatização veicular, em função da idade do veículo e das condições ambientais, levou-se em consideração os seguintes parâmetros: concentração de CO₂ (ppm); temperatura (°C); umidade relativa do ar (%); COVT (mg/m³).

Para a medição da concentração de CO₂, temperatura e umidade relativa do ar (UR) foi utilizado um instrumento portátil de leitura direta da marca INSTRUTHERM, o analisador de dióxido de carbono, modelo C-02, demonstrado na Figura 12, cujas especificações estão exibidas no Quadro 5.

Figura 12 - Analisador de dióxido de carbono.



Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 5 - Especificações do analisador de CO₂.

	Umidade Relativa	Temperatura	CO ₂
--	------------------	-------------	-----------------

Escala	10% a 95% UR	- 20°C a 60°C	0 a 6000 ppm
Resolução	0,1 UR	0,1°C	1ppm
Precisão	± 3% UR (em 25°C, de 30 a 95%) ± 5% UR (em 25°C, de 10 a 30%)	± 5°C	± 3% de leitura ou ± 50ppm
Tipo de Sensor	Sensor capacitivo de precisão	Termistor	Infravermelho NDIR de comprimento de onda dupla
Tempo de resposta	45% UR – 95% UR 95% UR – 45% UR	10°C a cada 2 segundos	Menor que 10 minutos

Fonte: INTRUTHERM, 2010.

Na medição do COVT foi utilizado um detector de ar inteligente da marca IGERESS, modelo WP6912, conforme mostra Figura 13, que além deste parâmetro é capaz de detectar formaldeído, material particulado 2.5 e 10.

Figura 13 - Medidor de COVTs utilizado.



Fonte: Elaborado pela autora.

Este equipamento adota tecnologia de sensor ativo e chip amplificado de alta precisão, sendo capaz de transformar os sinais de densidade dos parâmetros supracitados em sinais elétricos e transmiti-lo para o ar, os quais irão passar pelo processador do microcomputador interno para exibir o resultado da monitorização no display de LCD digital. A sua escala de legibilidade varia desde 0,000 a 9,999 mg/m³.

É válido ressaltar, que este medidor de COVT possui um sistema de auto calibração. Tal processo, tem o tempo de duração de 300 segundos, o qual deve ser executado ao ar livre e num ambiente externo de ar fresco.

3.2.1 Método utilizado

Em vista das possíveis interferências de análises de todos os parâmetros utilizados, bem como da constatação de eficiência do sistema de climatização dos veículos em estudo, evitou-se a realização das medições entre os horários de 11 h e 13 h, geralmente de temperaturas mais elevadas, além de que se priorizou a posição inicial do mesmo, em que estivessem em locais de sombra, cobertos ou parcialmente cobertos.

Ao início de toda medição em um carro, medidas do ambiente foram realizadas, a fim de se ter como parâmetro as condições ambientais do ar externo em comparação com as condições internas dos veículos. Um total de 30 segundos foi o tempo de intervalo entre as medições para o meio ambiente, e três medições foram consideradas satisfatórias para a obtenção da média aritmética. Destaca-se também que, nesse momento inicial, o medidor de COVs era calibrado conforme seu sistema interno.

As medições internas foram realizadas em cada carro, em quatro situações distintas, sendo que, para tanto, foram considerados os dois sistemas de condicionamento de ar existente nos mesmos, bem como a associação destes com a situação de “carro parado” e “carro em movimento”.

Além disso, na hipótese de se constatar que o uso de aromatizantes/desodorizantes de ambientes internos aumenta substancialmente o teor de COVTs no ambiente interno, cada associação (modo de condicionamento de ar + movimentação do veículo) foi também correlacionada à presença de um desodorizante.

Assim sendo, o primeiro momento das medições foi marcado pela ausência de desodorizante no ambiente interno de cada veículo.

Nesse caso, primeiramente com duas pessoas adultas presentes no habitáculo, o carro foi ligado, permanecendo estático e o sistema de ar condicionado foi ativado no modo de recirculação. Esperados 02 min, no intuito de aguardar que as condições ambientais se estabilizassem, começaram-se os registros fornecidos pelos aparelhos utilizados: analisador de CO₂ e medidor de COVT, simultaneamente. O intervalo entre medições de 01 minuto foi considerado satisfatório, visto a escala de medição dos aparelhos e a viabilidade econômica do estudo. O experimento foi finalizado após o registro de 05 medições de todos os parâmetros considerados.

Em um segundo momento, o mesmo procedimento foi aplicado, embora tendo sido mantidas as mesmas condições, o sistema de condicionamento utilizado passou a ser o de renovação do ar, finalizando assim as medições com o veículo parado e sem a presença do desodorizante.

Após isto, a movimentação do veículo frente aos parâmetros escolhidos passou a ser objeto de estudo. Para isso, com o carro em movimento e sistema de climatização no modo recirculação ativado, o mesmo procedimento de medição foi aplicado. Em um outro momento o procedimento foi reaplicado, dessa vez sob influência do modo de renovação do ar.

A partir de então, uma nova frente do estudo passou a ser realizada. Foi escolhido um produto aromatizante/desodorizante (vide Figura 14), o qual foi implantado em cada veículo, a fim de se analisar as suas consequências no substancial de COVT no ambiente interno dos mesmos.

Figura 14 - Desodorizante utilizado no estudo.



Fonte: Elaborado pela autora.

Segundo rótulo do produto, o mesmo contém em sua composição: nonilfenol, etoxilados, espessante, agente de controle de pH, corante e fragrância de veículo. A fragrância escolhida foi a de carro novo.

O produto foi instalado em cada carro, imediatamente após as medições supracitadas e após decorridas aproximadamente 20 horas, a fim de se analisar a influência do desodorizante no teor de COVT, fez-se novas medições destes.

3.3 Levantamento dos hábitos dos proprietários

A aplicação de questionários aos proprietários dos veículos (vide APÊNDICE I) também foi metodologia de estudo, com a intenção de se obter informações importantes, a exemplo de: hábitos do proprietário; frequência de utilização do carro e do seu sistema de climatização; se houve ou não troca do filtro do ar condicionado; uso ou não de desodorizantes; entre outros. Informações estas que puderam contribuir na compreensão dos resultados obtidos através das medições.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diante dos dados obtidos através das análises, foram elaborados gráficos dos parâmetros selecionados em função do tempo de medição, os quais foram instrumentos para análise das condições ambientais dos veículos.

A análise dos dados é apresentada por cada carro, mediante condições estabelecidas.

4.1 Renault Sandero

Segundo o questionário aplicado, este carro, com ano de fabricação de 2017, possuiu apenas um dono até o momento da pesquisa. Sua proprietária afirma utilizá-lo, diariamente, para trabalhar, ativando o sistema de ar condicionado, no modo de recirculação, todas as vezes que entra no veículo.

Sobre manutenções realizadas no aparelho de climatização do seu carro, afirmou já ter trocado o filtro da cabine uma ou duas vezes. Já a limpeza interna, a mesma declara realizá-la mensalmente.

As condições ambientais no momento de realização das medições tiveram suas médias apresentadas no Quadro 6. As mesmas serviram de parâmetros para as condições estudadas no ar interior dos veículos.

Quadro 6 - Dados das condições ambiente no momento do estudo com o Renault Sandero.

Parâmetro	Valor Médio
CO ₂ (ppm)	427,67 ± 22,81
T (°)	33,07 ± 0,21
UR (%)	46,33 ± 2,23
COVT (mg/m ³)	0,00

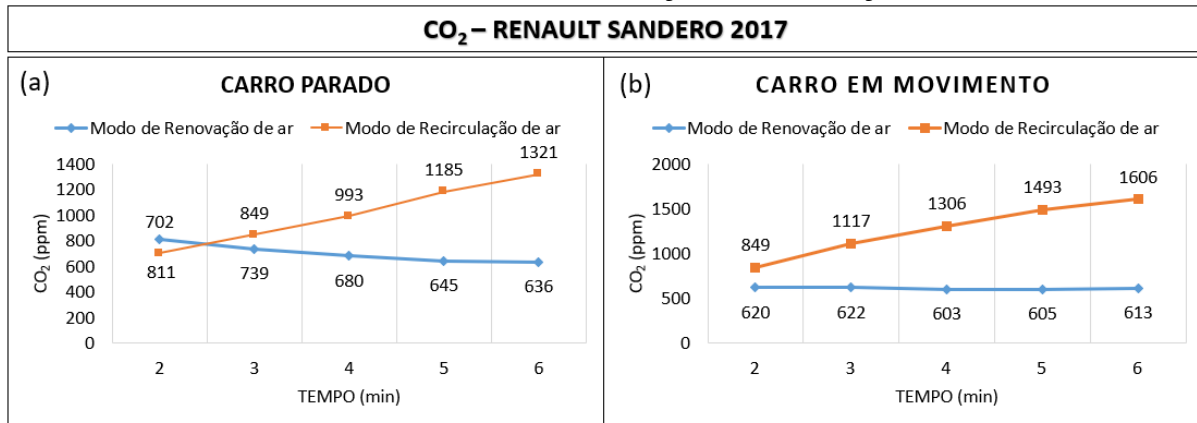
Fonte: Elaborado pela autora.

A seguir, são apresentados os gráficos elaborados a partir das medições realizadas dentro do veículo.

CO₂ (ppm)

A partir do monitoramento do ar interno, nas condições de carro parado e em movimento, foram elaborados os gráficos representando a variação da concentração do CO₂ ao longo do tempo, dos quais constam duas curvas referentes às condições de renovação de ar e recirculação de ar, conforme Figura 15.

Figura 15 - Gráficos da concentração de CO₂ em função do tempo para o Renault Sandero (a) carro parado sob modo de renovação e recirculação de ar (b) carro em movimento sob modo de renovação e recirculação de ar



Fonte: Elaborado pela autora.

O modo de renovação de ar, tanto nas condições de carro parado quanto em movimento, se mostrou eficiente no que diz respeito a evitar altas concentração de CO₂ e seu consequente acúmulo no ambiente interno.

Enquanto isso, foi possível comprovar que o modo de recirculação aumenta o teor de gás carbônico no interior do veículo, uma vez que, nas condições de carro parado, o aumento deste gás foi de 88,18%. Já nas condições de carro em movimento, o aumento causado foi de 89,16%.

De posse do volume interno do Renault Sandero e da vazão de CO₂ exalada na respiração, foi possível estabelecer a contribuição da respiração dos ocupantes do veículo no momento em que foram efetuadas as medições, conforme demonstrado a seguir:

$$Q_{exp} = 0,2136 \frac{L_{CO_2}}{min} . \text{ Como havia duas pessoas no veículo tem-se:}$$

$$Q_{expT} = 2 \cdot 0,2136 \frac{L_{CO_2}}{min}$$

$$Q_{expT} = 0,4272 \frac{L_{CO_2}}{min}$$

Considerando o tempo gasto entre as medições de 6 min e o volume do carro de 6,83m³, obtém-se:

$$\Delta C_{CO_2} = \frac{Q_{exp}}{V_{carro}}$$

$$\Delta C_{CO_2} = \frac{0,4272}{6,83 \text{ m}^3} \cdot \frac{L_{CO_2}}{min} \cdot 6 \text{ min}$$

$$\Delta C_{CO_2} = 0,3753 \cdot \frac{L_{CO_2}}{m^3}$$

Expressando-se a concentração em ppm, encontra-se:

$$\Delta C_{CO_2} = 0,3753 \cdot \frac{L_{CO_2}}{m^3} \cdot \frac{1000 \text{ mL}}{L}$$

$$\Delta C_{CO_2} = 375,30 \text{ ppm}$$

Este foi o aumento na concentração de CO₂, gerado pela respiração dos ocupantes, durante o tempo de medição dentro do veículo, bastante substancial que influencia diretamente nos altos teores encontrados no modo de recirculação. Desse modo, a respiração humana foi responsável por 60,63% do teor de CO₂ gerado durante o modo de recirculação na situação de carro parado. Na situação de carro em movimento, a influência foi de 49,58%.

As altas taxas de concentração de CO₂, evidenciadas quando ativado o modo de recirculação, merecem atenção especial, visto que as mesmas aparecem nos primeiros momentos de medição, principalmente na situação de carro em movimento, em que os índices chegam a ultrapassar rapidamente a concentração limite recomendada pela Resolução nº09/2003 da ANVISA (1000 ppm).

Como agravante, soma-se a isso o fato de a proprietária do veículo trabalhar com o mesmo e utilizá-lo no modo de recirculação de ar todas as vezes que usa o carro. As altas taxas de CO₂ alcançadas em ambientes interiores são indicadores de baixa renovação do ar, o que evidencia o acúmulo de outros contaminantes químicos de caráter mais nocivo que o CO₂.

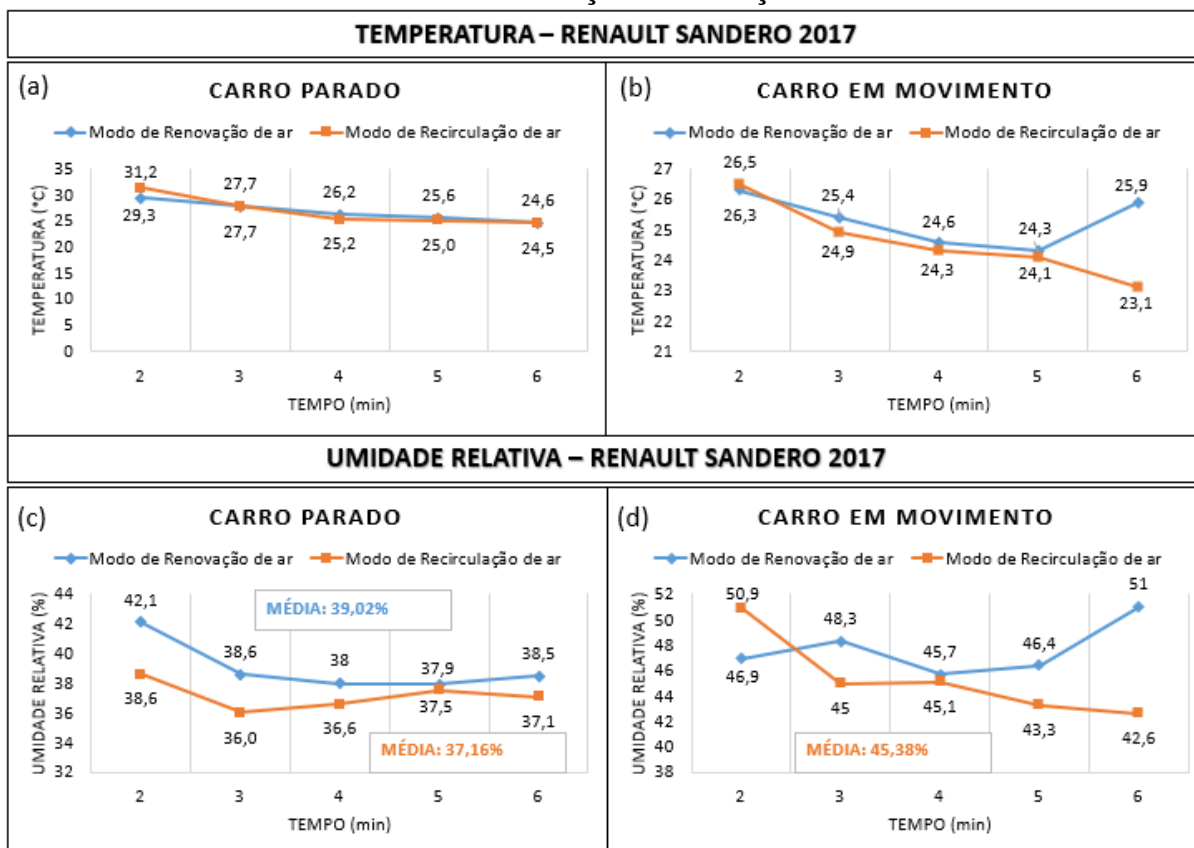
Temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%)

Estes são importantes requisitos para avaliação da QAI e possui limites estabelecidos pela NBR 16401-2. Esta norma estipula parâmetros ambientais, suscetíveis de produzir sensação aceitável de conforto térmico em 80% ou mais dos ocupantes de um ambiente climatizado. Os limites estabelecidos por esta NBR, como parâmetros de conforto térmico para o verão (estação a qual foi realizada o presente estudo) são: 22,5 °C a 25,5°C e umidade relativa de 65%; e 23,0°C a 26°C e umidade relativa de 35%.

Desse modo, para os dois modos de condicionamento de ar e as duas situações, carro parado e em movimento, foram elaborados gráficos da temperatura em função do tempo, bem como da UR em função do tempo, conforme apresenta a Erro! Fonte de referência não encontrada.

Figura 16 – Evolução da temperatura e da umidade relativa com o tempo para o Renault Sandero (a) temperatura para o carro parado sob o modo de recirculação e renovação de ar (b) temperatura para o carro em movimento sob o modo de recirculação e renovação de ar (c) umidade relativa para o carro parado sob o modo de

recirculação e renovação de ar (d) umidade relativa para o carro em movimento sob o modo de recirculação e renovação de ar



Fonte: Elaborado pela autora.

Nesta seção, as condições do ambiente externo supracitadas são aspectos cruciais para entender o comportamento das curvas acima. Desse modo, deve-se atentar para temperatura do ambiente externo de 33°C e umidade relativa do ar de 46,33%.

Na situação de carro parado, as temperaturas e umidades relativas do ar dos dois modos convergiram para um valor em comum. No entanto, dada a temperatura do ambiente externo e a temperatura inicial registrada de ambos os modos, infere-se que o modo de recirculação apresentou um decaimento mais acentuado.

Nas condições do carro em movimento, sob o modo de recirculação, o sistema alcançou de forma mais rápida as condições de conforto térmico, visto que tanto em termos da temperatura quanto a UR tiveram decaimento expressivo.

Por sua vez, o modo de renovação de ar apresenta variações nas medições realizadas para temperatura e UR, o que pode ser explicado pelo modo em questão estar sujeito, principalmente, à velocidade do veículo.

O intervalo recomendado pela NBR 16401-2 de 23,0°C a 26°C e umidade relativa de 35%, aquele que mais se aproxima à realidade do presente estudo, foi comparado aos intervalos obtidos através das medições, a saber:

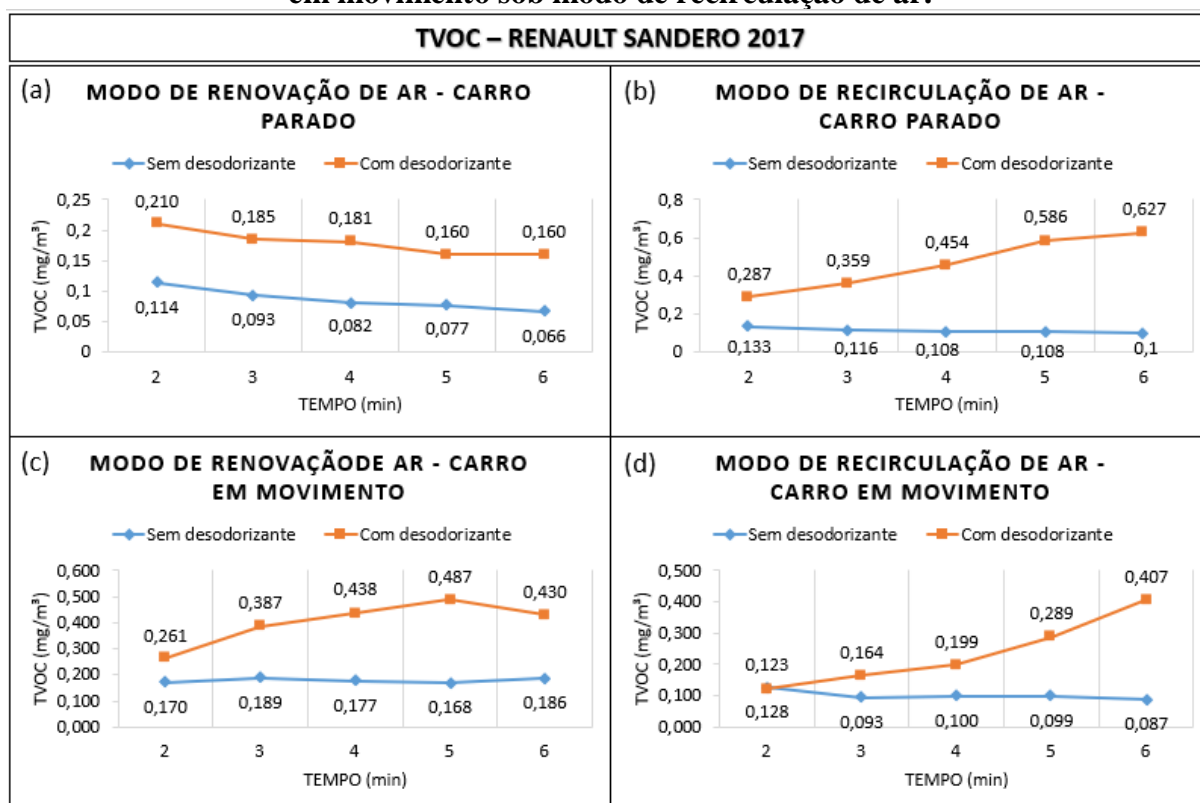
- Carro parado sob modo de recirculação de ar: 24,5 °C a 31,2°C e UR média de 37,16%;
- Carro parado sob modo de renovação de ar: 24,6 a 29,3°C e UR média de 39,02%;
- Carro em movimento sob modo de recirculação de ar: 23,1°C a 26,5°C e UR média de 45,38%;
- Carro em movimento sob modo de renovação de ar: 24,3 a 26,3 °C e UR média de 47,66%.

Percebe-se que, embora próximos, os valores encontrados não estão em atendimento aos padrões previstos na referida NBR.

COVT (mg/m³)

A partir dos dados obtidos através das medições de COVT, foram elaborados gráficos nas condições pré-estabelecidas de movimentação do carro e modo de condicionamento de ar, conforme apresentado na Figura 17.

Figura 17 - Gráficos de COVT em função do tempo para o Renault Sandero, com e sem desodorizante (a) carro parado sob modo de renovação de ar (b) carro parado sob modo de recirculação de ar (c) carro em movimento sob modo de renovação de ar e (d) carro em movimento sob modo de recirculação de ar.



Fonte: Elaborado pela autora.

Um fator relevante evidenciado nesse veículo são os altos teores de COVs antes da aplicação do desodorizante, mesmo a proprietária do veículo afirmando não usar produtos para tais finalidades. Isto pode ser explicado pela idade do veículo, uma vez que veículos novos

emitem taxas de COVT mais altas, apresentando uma taxa de decaimento exponencial ao longo do tempo.

Observa-se que a presença de desodorizante, pós aplicação, causa acréscimo no teor de COVT no ambiente interno do veículo, visto que, para os casos em que se faz uso deste, conforme Figura 17 (a - d), as medidas iniciais tiveram aumentos respectivamente de: 84,21%; 115,79%; 53,53% e 4,07%.

No modo de renovação de ar, é possível notar que o sistema é capaz de eliminar levemente, até onde foi avaliado, parte da quantidade de COVT presente, tendo sido observada uma maior eficiência na situação em que o carro permaneceu parado. No entanto, com o carro em movimento, há umas nuances nessas quedas, as quais podem ser explicadas por uma possível má qualidade do ar externo, o qual é aspirado para o sistema de climatização, tratado e mandado para o ambiente interno.

Já para o modo de recirculação, é possível perceber, de maneira evidente, a influência do desodorizante no ambiente interno, uma vez que, em presença deste, a curva do gráfico na Figura 17 (d), em especial, apresenta-se bastante acentuada, com uma taxa de crescimento de aproximadamente 0,07 mg/m³/min.

4.2 HB20

Com base no questionário aplicado, este veículo foi fabricado em 2013 e é utilizado somente aos finais de semana. O seu ar condicionado é ativado todas as vezes que o mesmo é utilizado e tal aparelho já sofreu processo de manutenção, uma vez que houve a completação do seu gás de refrigeração.

As condições do ambiente externo foram medidas e as suas médias estão expressas no Quadro 7. As mesmas servirão de parâmetros pra as condições estudadas no ar interior dos veículos.

Quadro 7 - Dados das condições ambiente no momento do estudo com o HB20.

Parâmetro	Valor Médio
CO ₂ (ppm)	426,00 ± 12,17
T (°)	32,8 ± 0,31
UR (%)	52,93 ± 0,96
COVT (mg/m ³)	0,00

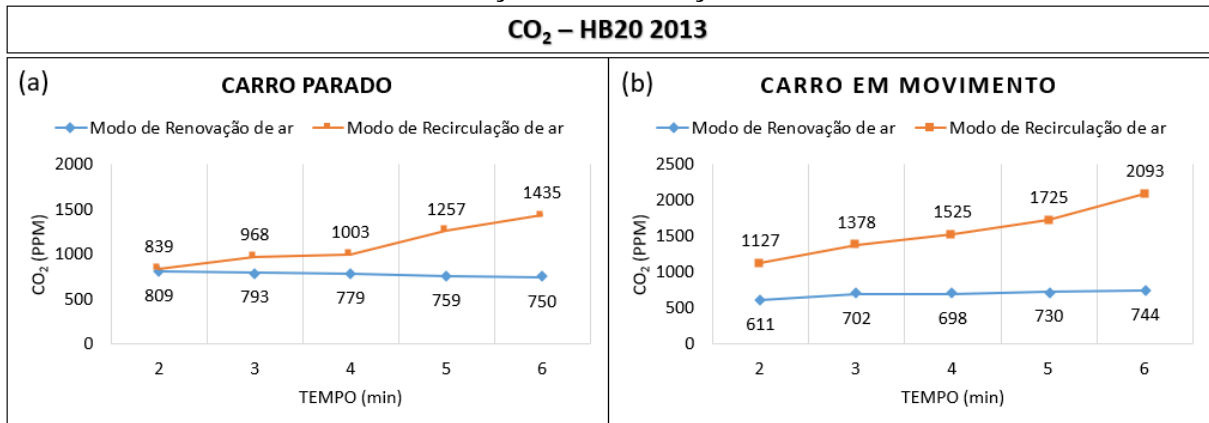
Fonte: Elaborado pela autora.

A partir de então, são apresentados e comentados os gráficos elaborados através das medições realizadas no habitáculo do veículo.

CO₂ (ppm)

Mediante monitoramento do ar interno do HB20, sob as condições de carro parado e em movimento, além de modo de renovação e recirculação de ar, foram elaborados gráficos, apresentados na Figura 18.

Figura 18 - Gráficos da concentração de CO₂ em função do tempo para o HB20 (a) carro parado sob modo de renovação do ar e recirculação (b) carro parado sob modo de renovação e recirculação do ar



Fonte: Elaborado pela autora.

O modo de renovação de ar, apresentou uma redução da concentração de CO₂ de 60 mg/m³ quando parado, no entanto, em movimento o sistema não foi capaz de expelir as concentrações internas e evitar o acúmulo desse composto, mesmo que em menor escala quando comparado ao sistema de recirculação.

Como esperado, o modo de recirculação aumentou substancialmente o teor de CO₂ no ambiente interno do carro. Sendo o aumento de 71,04% para o carro estático e 85,71% para o mesmo em movimento.

De posse do volume interno do HB20 e da vazão de CO₂ exalada na respiração, foi possível estabelecer a contribuição da respiração dos dois ocupantes do veículo no momento em que foram efetuadas as medições, conforme demonstrado a seguir:

$$Q_{exp} = 0,2136 \frac{L_{CO_2}}{\text{min}}$$

$$Q_{expT} = 2 \cdot 0,2136 \frac{L_{CO_2}}{\text{min}}$$

$$Q_{expT} = 0,4272 \frac{L_{CO_2}}{\text{min}}$$

Considerando o tempo gasto entre as medições de 6 min e o volume do carro de 5,964m³, obtém-se:

$$\Delta C_{CO_2} = \frac{Q_{exp}}{V_{carro}}$$

$$\Delta C_{CO_2} = \frac{0.4272}{5,964 \text{ m}^3} \cdot \frac{L_{CO_2}}{\cancel{\text{min}}} \cdot 6 \cancel{\text{min}}$$

$$\Delta C_{CO_2} = 0,4298 \cdot \frac{L_{CO_2}}{\text{m}^3}$$

Expressando-se a concentração em ppm, encontra-se:

$$\Delta C_{CO_2} = 0,4298 \cdot \frac{\cancel{L_{CO_2}}}{\text{m}^3} \cdot \frac{1000 \text{ mL}}{\cancel{L}}$$

$$\Delta C_{CO_2} = 429,78 \text{ ppm}$$

Desse modo, a respiração humana foi responsável por 72,11% do teor de CO₂ gerado durante o modo de recirculação na situação de carro parado e na situação de carro em movimento, a influência foi de 44,49%.

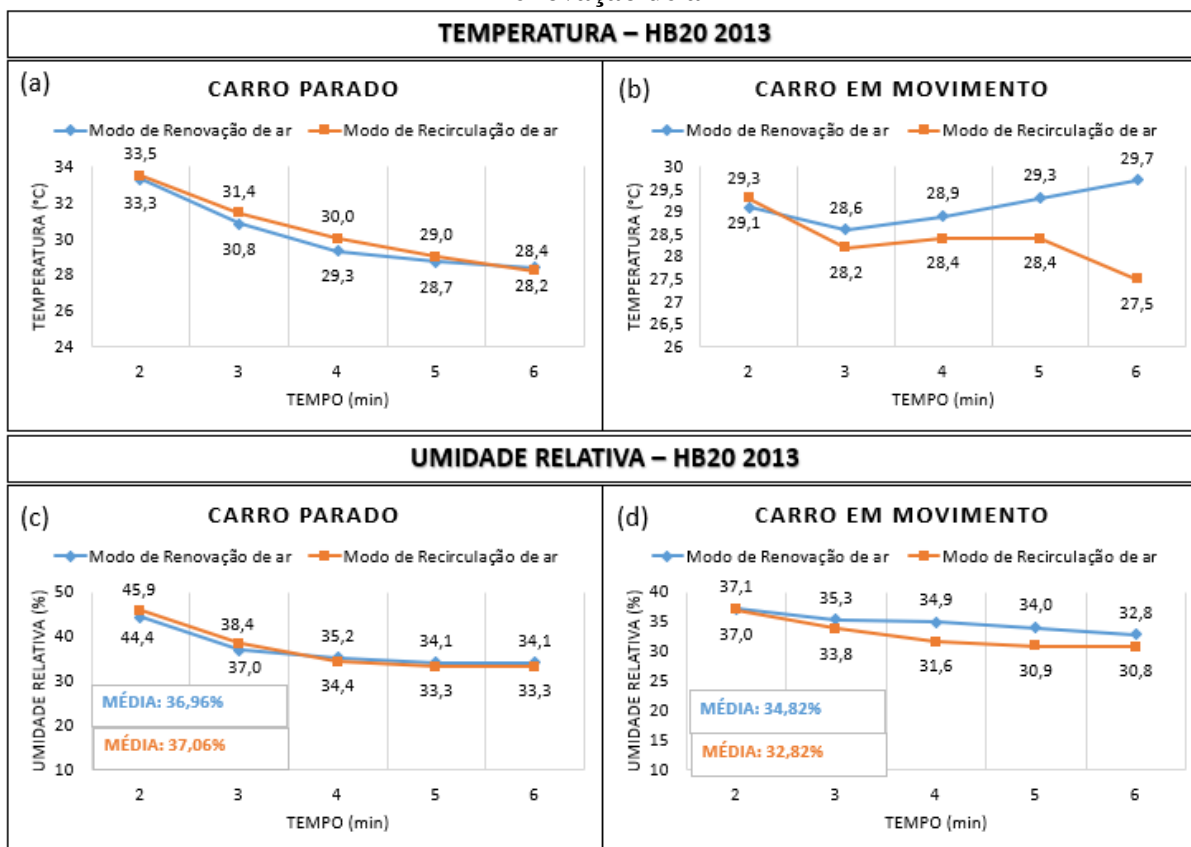
Quando comparados os dados obtidos em função do tempo com a concentração limite exigida pela Resolução nº09/2003 da ANVISA, de 1000 ppm, observa-se que os valores obtidos apresentam concentrações significativamente maiores para o modo de recirculação com uma média de 1100,4 ppm para o modo parado, e 1569,6 ppm quando em movimentação.

Temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%)

Nos dois modos de condicionamento de ar e as duas situações, carro parado e em movimento, foram elaborados gráficos em função do tempo para temperatura e para umidade relativa do ar, conforme apresenta a Figura 19.

Figura 19 – Evolução da temperatura e da umidade relativa com o tempo para o HB20
(a) temperatura para o carro parado sob o modo de recirculação e renovação de ar
(b) temperatura para o carro em movimento sob o modo de recirculação e renovação de ar
(c) umidade relativa para o carro parado sob o modo de recirculação e renovação de ar

(d) umidade relativa para o carro em movimento sob o modo de recirculação e renovação de ar



Fonte: Elaborado pela autora.

As condições ambientais externas, importante aspecto desse estudo, foram de 32,8°C para temperatura e 52,93 % para UR.

Na situação de carro parado, as temperaturas e umidades relativas do ar dos dois modos convergiram para um valor em comum. Quando as condições foram de carro em movimento, no modo de recirculação a temperatura decresceu 2°C e a UR baixou 6,2 pontos percentuais, apresentando decaimento em todo comportamento da reta (Figura 19 (b) e Figura 19 (d)).

Por sua vez, o modo de renovação apresentou decréscimo na UR, mas a temperatura que embora inicialmente tenha apresentado um pequeno decaimento, logo após a segunda medição passou a sofrer aumento. Percebeu-se, portanto, que no modo de renovação a função, inerente ao sistema, de baixar a temperatura sofre influência direta da movimentação do veículo. Além disso, a temperatura alta do ambiente externo dificulta ainda mais a eficiência do sistema, uma vez que irá captar ar sempre em alta temperatura para resfriar.

O intervalo recomendado pela NBR 1.6401-2 de 23,0°C a 26°C e umidade relativa de 35%, aquele que mais se aproxima da realidade do presente estudo, foi comparado aos intervalos obtidos através das medições, a saber:

- Carro parado sob modo de recirculação: 28,2 °C a 33,5°C e UR média de 37,06%;

- Carro parado sob modo de renovação: 28,4 a 33,3°C e UR média de 36,96%;
- Carro em movimento sob modo de recirculação: 28,2°C a 29,3°C e UR média de 32,82%;
- Carro em movimento sob modo de renovação de ar: 28,6 a 29,7 °C e UR média de 34,82%.

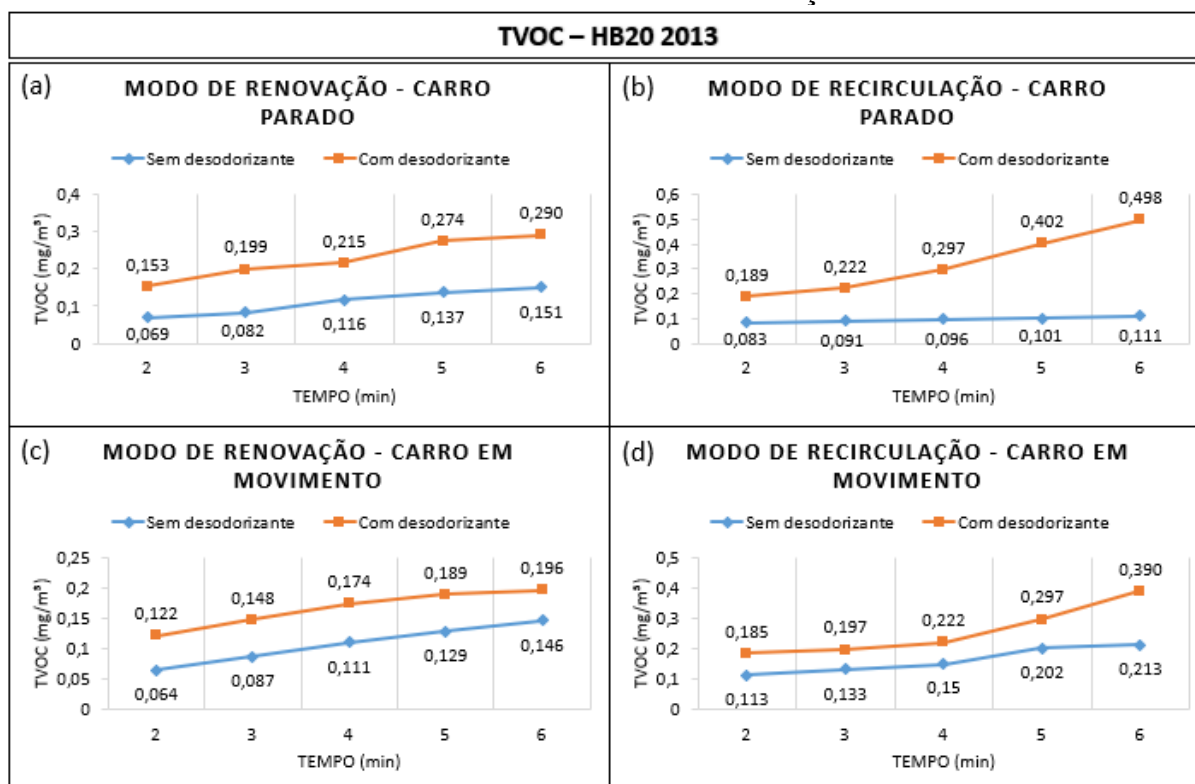
Percebeu-se, no entanto, que embora próximos, os dados não estão de acordo aos padrões previstos na referida NBR.

COVT

Como consequência das medições efetuadas no interior do HB20, elaborou-se gráficos condicionados a variáveis predeterminadas. Tais gráficos, serão exibidos na

Figura 20.

Figura 20 - Gráficos de COVT em função do tempo para o HB20, com e sem desodorizante (a) carro parado sob modo de renovação do ar (b) carro parado sob modo de recirculação do ar (c) carro em movimento sob modo de renovação de ar e (d) carro em movimento sob modo de recirculação de ar



Fonte: Elaborado pela autora.

Diante as quatro combinações das condições estudadas e apresentadas na

Figura 20, o uso do desodorizante aumentou a taxa de crescimento de COVT em todas elas. Evidenciando-se, então, que a utilização de desodorizante gera influências negativas quanto a presença e concentração dos COVs no ar interior do veículo.

Vale ressaltar que o proprietário afirma fazer uso de desodorizantes no seu veículo (vide apêndice I), embora no momento da medição não foi observada a presença do produto. Assim sendo, entende-se os valores significativos encontrados nas primeiras medições, quando ainda não tinha sido implantado o desodorizante do estudo.

Além disso, o fato de o proprietário utilizar o veículo apenas aos finais de semana, pressupõe-se que as concentrações dos compostos químicos gasosos que compõem o ar interno deste carro permaneçam concentrados por toda a semana. A dissipação dos gases, acontece minimamente, uma vez que o carro em uso, o ar condicionado está ativado e o modo utilizado é, conforme proprietário, sempre o de recirculação.

De acordo com análise realizada, para condição de carro parado, tanto sob o modo de recirculação quanto sob o modo de renovação de ar, as medições iniciais na presença do desodorizante já foram maiores do que as últimas medidas na ausência do mesmo, sendo o acréscimo de 1,32% para o modo de renovação de ar e de 18,9% para o modo de recirculação do ar, conforme visto na

Figura 20 (a) e (b), respectivamente.

Já para condição de carro em movimento com desodorizante, percebe-se que a taxa de crescimento de COVT no ar interior do veículo sob influência do modo de recirculação, é aproximadamente três vezes maior em comparação quando este está sob os efeitos do modo de renovação de ar.

Tal fato pode ser explicado, pois sabe-se que o modo de renovação de ar, apesar de ter também a função de expelir os poluentes gasosos do recinto, não apresenta efetividade quando na presença de uma fonte interna de COVs, neste caso o desodorizante, o qual irá gerar um residual de COVT no ar interno.

4.3 Fiat Punto

Este carro possui ano de fabricação de 2011 e já possuiu, conforme o questionário aplicado, dois proprietários até o momento da pesquisa. O proprietário atual declarou utilizar o carro todos os dias, porém só faz uso do sistema de ar condicionado veicular nos dias de muito calor e sob o modo de recirculação de ar.

O mesmo afirma realizar a limpeza interna do veículo quinzenalmente. Quando perguntado sobre o uso de desodorizantes, bem como do hábito de se perfumar no habitáculo do veículo, a resposta foi “às vezes” para ambos os questionamentos.

As condições ambientais no momento de realização das medições podem ser vistas no Quadro 8. As mesmas servirão de parâmetros para as condições estudadas no ar interior dos veículos.

Quadro 8 - Dados das condições ambiente no momento do estudo com o Fiat Punto.

Parâmetro	Valor Médio
CO ₂ (ppm)	445,33 ± 8,08
T (°)	25,17 ± 0,55
UR (%)	77,37 ± 3,53
COVT (mg/m ³)	0,00

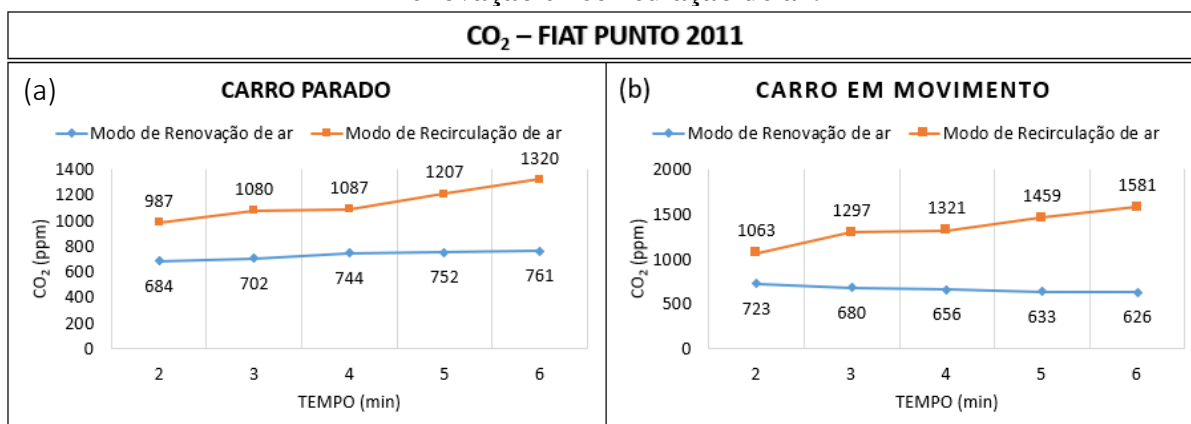
Fonte: Elaborado pela autora.

A seguir, para cada parâmetro escolhido serão apresentados seus respectivos gráficos, estruturados conforme medições realizadas e condições fixadas do veículo.

CO₂ (ppm)

Diante do monitoramento de ar interno, gráficos foram elaborados e estão apresentados na Figura 21.

Figura 21 - Gráficos da concentração de CO₂ do Fiat Punto em função do tempo para (a) carro parado sob modo de renovação de ar e recirculação (b) carro parado sob modo de renovação e recirculação de ar.



Fonte: Elaborado pela autora.

Para o modo de renovação de ar, só houve eliminação do teor de CO₂ na situação de carro em movimento, o qual obteve uma taxa de decaimento 24,25 ppm/min. A condição de carro em movimento, por sua vez, apresentou aumento de CO₂ quando o esperado seria haver decaimento deste, o que pode ser explicado por já possuir 08 anos de uso e, segundo o seu proprietário, o seu sistema de climatização não ter passado por nenhum tipo de manutenção.

O modo de recirculação aumentou o teor de gás carbônico, conforme esperado. Nas condições de carro parado, o acréscimo foi de 33,74%, já nas condições de carro em movimento, foi de 48,73%.

De posse do volume interno do Fiat Punto e da vazão de CO₂ exalada na respiração, foi possível estabelecer a contribuição da respiração dos dois ocupantes do veículo no momento em que foram efetuadas as medições, conforme demonstrado a seguir:

$$Q_{exp} = 0,2136 \frac{L_{CO_2}}{min}$$

$$Q_{expT} = 2 \cdot 0,2136 \frac{L_{CO_2}}{min}$$

$$Q_{expT} = 0,4272 \frac{L_{CO_2}}{min}$$

Considerando o tempo gasto entre as medições de 6 min e o volume do carro de 10,23m³, obtém-se:

$$\Delta C_{CO_2} = \frac{Q_{exp}}{V_{carro}}$$

$$\Delta C_{CO_2} = \frac{0,4272}{10,23 \text{ m}^3} \cdot \frac{L_{CO_2}}{min} \cdot 6 \cancel{min}$$

$$\Delta C_{CO_2} = 0,2575 \cdot \frac{L_{CO_2}}{m^3}$$

Expressando-se a concentração em ppm, encontra-se:

$$\Delta C_{CO_2} = 0,2505 \cdot \frac{L_{CO_2}}{m^3} \cdot \frac{1000 \text{ mL}}{\cancel{L}}$$

$$\Delta C_{CO_2} = 250,50 \text{ ppm}$$

Desse modo, a respiração humana foi responsável por 75,22% do teor de CO₂ gerado durante o modo de recirculação na situação de carro parado e na situação de carro em movimento, a influência foi de 48,35%.

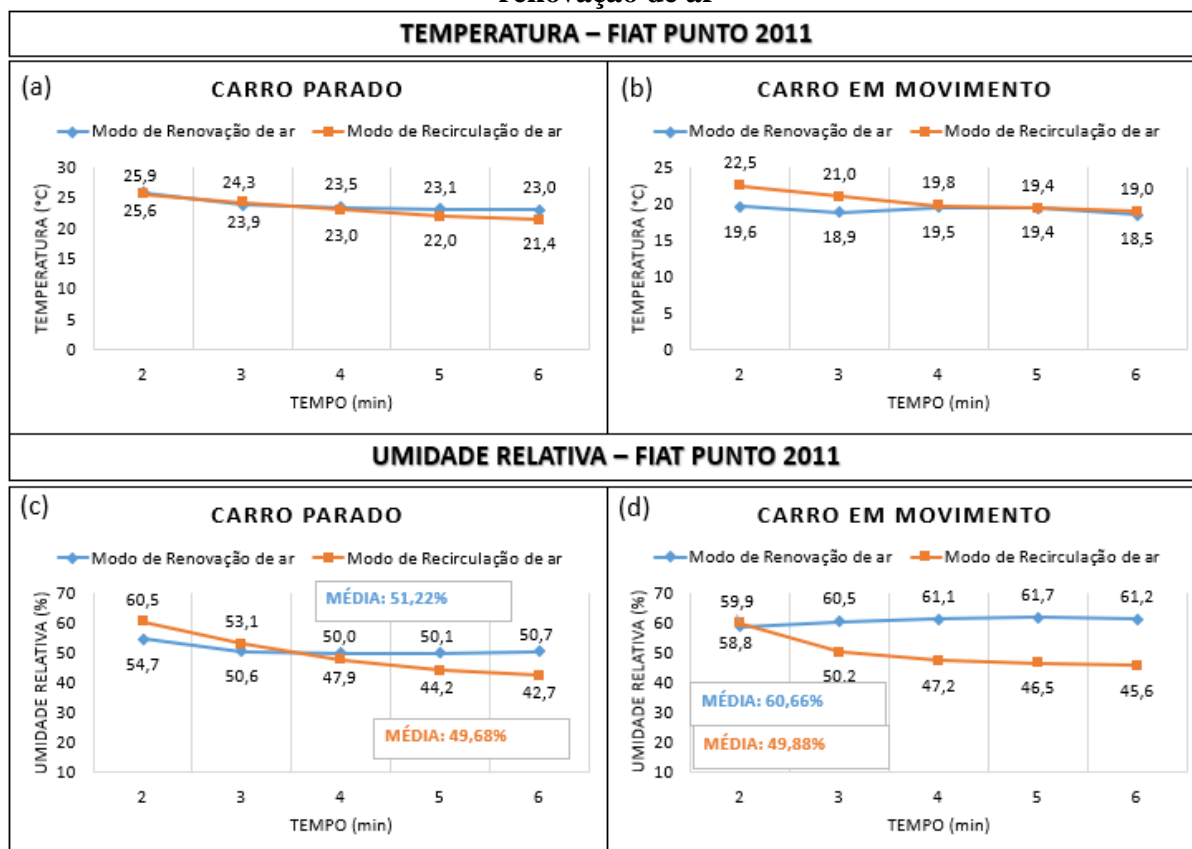
Neste carro, assim como nos analisados até o momento, o modo de recirculação provoca índices que ultrapassam o limite de 1000 ppm exigido pela Resolução nº09/2003 da ANVISA.

Temperatura (°C) e Umidade Relativa do ar (%)

Os gráficos de temperatura em função do tempo e UR em função do tempo do Fiat Punto, sob influência dos dois modos de condicionamento de ar e nas duas situações estudadas, carro parado e em movimento, são demonstrados na Figura 22.

Figura 22 – Evolução da temperatura e da umidade relativa com o tempo para o Fiat Punto (a) temperatura para o carro parado sob o modo de recirculação e renovação de ar (b) temperatura para o carro em movimento sob o modo de recirculação e renovação de ar (c) umidade relativa para o carro parado sob o modo de recirculação e renovação

de ar (d) umidade relativa para o carro em movimento sob o modo de recirculação e renovação de ar



Fonte: Elaborado pela autora.

As condições ambientais externas, apresentaram-se com valores para temperatura de 25,17°C e umidade relativa do ar de 77,37%. Destaque para a UR, que foi reduzida consideravelmente nos dois modos e nas duas condições empregadas.

Na situação de carro parado, as temperaturas e umidades relativas do ar dos dois modos convergiram para um valor aproximado, porém com uma diferença de, aproximadamente, 2°C para temperatura e de 8 percentuais para UR.

Nas condições de carro em movimento, os dois modos convergiram a temperatura para valores aproximados, com diferença de 0,5°C entre eles. Porém, é possível perceber que a UR de ambos os modos que começam com diferencial de 1,0% de UR se destoam ao longo do tempo, chegando a diferença de 15,2 percentuais.

Nota-se que o modo de recirculação torna o ar mais seco embora mantenha a temperatura na mesma faixa que o modo de renovação. Este fato pode conferir uma melhor sensação de conforto térmico, porém pode causar efeitos adversos aos ocupantes do ambiente interior do veículo, como garganta seca e irritação dos olhos e nariz.

Para este carro, diante os dados analisados, serão considerados como parâmetros as duas faixas recomendadas pela NBR 16401-2, o intervalo de 23,0°C a 26°C e umidade relativa de

35%, e o intervalo de 22,5 °C a 25,5°C e umidade relativa de 65%, para comparação com os dados obtidos, a saber:

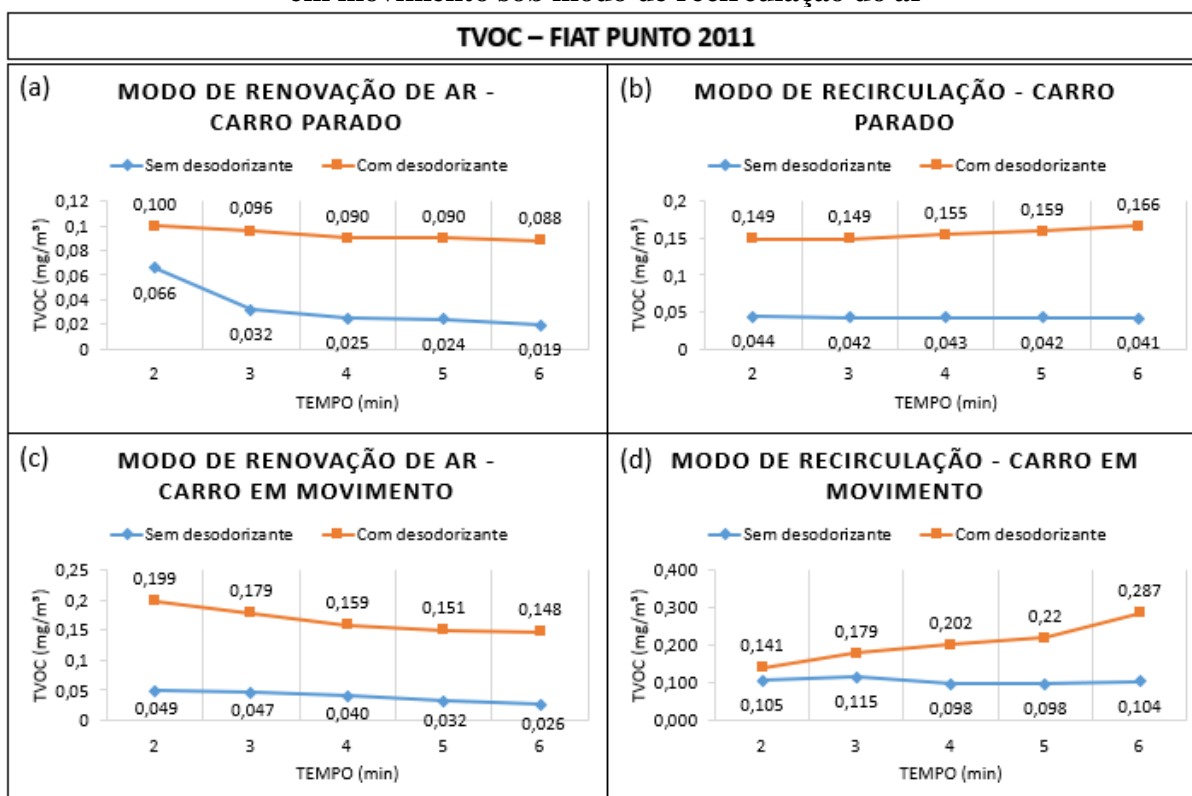
- Carro parado sob modo de recirculação: 21,4 °C a 25,6°C e UR média de 49,68%;
- Carro parado sob modo de renovação: 23,0°C a 25,9°C e UR média de 51,22%;
- Carro em movimento sob modo de recirculação: 19,0°C a 22,5°C e UR média de 49,88%;
- Carro em movimento sob modo de renovação de ar: 18,5°C a 19,6 °C e UR média de 60,66%.

Percebe-se, portanto, que embora a faixa de temperatura se encaixe ao que se estabelece a NBR, os valores da UR não se encaixam aos mesmos. Desse modo, pode-se afirmar que os valores encontrados não estão em atendimento aos padrões referenciais da norma.

COVT

A partir das medições de COVT, gráficos foram elaborados nos quatro cenários considerados, conforme Figura 23.

Figura 23 - Gráficos de COVT em função do tempo para Fiat Punto, com e sem desodorizante (a) carro parado sob modo de renovação do ar (b) carro parado sob modo de recirculação do ar (c) carro em movimento sob modo de renovação de ar e (d) carro em movimento sob modo de recirculação do ar



Fonte: Elaborado pela autora.

Este carro apresentou taxa de decaimento para os quatro cenários na ausência do desodorizante. No entanto, a redução no teor de COVT e consequente remoção dos poluentes

químicos, se mostrou mais eficiente na condição de carro parado sob o modo de renovação de ar, com taxa de decaimento de 71,43% maior que no modo de recirculação (Figura 23 (c)).

A presença de COV substancial antes da aplicação do desodorizante, pode estar atrelada ao fato do proprietário, mesmo que esporadicamente, fazer uso de substâncias com esse viés bem como se perfumar no veículo, fature estes que podem criar um residual que fique inerente ao ambiente interno, e gere o residual acusado nas medições iniciais neste carro.

Quando na presença do desodorizante, a combinação mais eficiente em remover os poluentes do ambiente interno se torna o modo de renovação de ar com o carro em movimento, o qual apresentou uma taxa de decaimento de 0,012 mg/m³/min, representando um poder de redução de 32,71%, comparada ao modo de recirculação.

O modo de recirculação de ar apresenta os valores de COVT sob mínima variação. No entanto, na presença de desodorizantes, tais valores aumentam substancialmente, apresentando uma média de COVT de aproximadamente quatro vezes maior do que antes para a situação em que o carro está parado. Em movimentação apresenta um percentual de 98,00% maior em termos de concentração de COVT.

4.4 Ford Fiesta

Com base no questionário aplicado, o ano de fabricação do carro é 2004. O mesmo é utilizado diariamente, porém raramente o seu sistema de ar condicionado é acionado. Além disso, o seu dono faz uso de desodorizantes. Sobre a limpeza interna do veículo, a mesma é realizada sempre que o proprietário julga necessário.

As condições ambientais externas ao veículo no momento de realização das medições no Ford Fiesta podem ser vistas no Quadro 9. Estas servirão de parâmetros para as condições estudadas no ar interior do veículo.

Quadro 9 - Dados das condições ambiente no momento do estudo com o Ford Fiesta.

Parâmetro	Valor Médio
CO ₂ (ppmv)	392,67 ± 5,51
T (°)	26,07 ± 0,06
UR (%)	71,83 ± 0,15
COVT (mg/m ³)	0,00

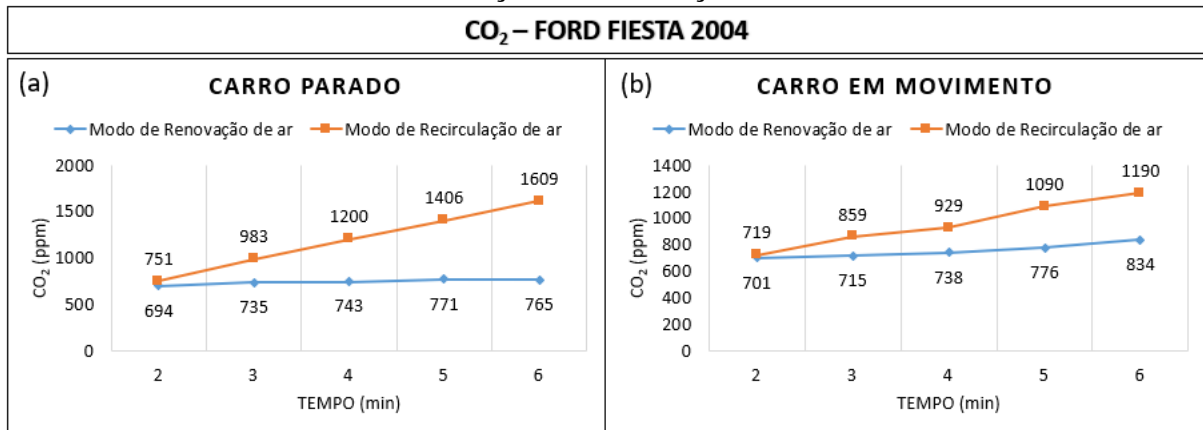
Fonte: Elaborado pela autora.

A seguir, serão apresentados os gráficos elaborados a partir das medições realizadas dentro do veículo.

CO₂ (ppm)

Nas condições de carro parado e em movimento, foram elaborados os gráficos que representam o comportamento do CO₂ em função do tempo para o Ford Fiesta, nos quais constam duas retas sob as condições de renovação de ar e recirculação de ar, conforme Figura 24.

Figura 24 - Gráficos da concentração de CO₂ em função do tempo para o Ford Fiesta (a) carro parado sob modo de renovação e recirculação de ar (b) carro parado sob modo de renovação e recirculação de ar



Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme esperado, observa-se que o modo de recirculação aumentou consideravelmente o teor de gás carbônico dentro do habitáculo. Nas condições de carro parado, por exemplo, o aumento foi de 114,25%, por sua vez, nas condições de carro em movimento, o aumento causado foi de 65,50%.

Altas taxas de concentração de CO₂ são evidenciadas quando ativado o modo de recirculação, em que os índices chegam a ultrapassar a concentração limite, de 1000 ppm, exigida pela Resolução n°09/2003 da ANVISA.

De posse do volume interno do Ford Fiesta e da vazão de CO₂ exalada na respiração, foi possível estabelecer a contribuição da respiração dos dois ocupantes dentro do veículo no momento em que foram efetuadas as medições, conforme demonstrado a seguir:

$$Q_{exp} = 0,2136 \frac{L_{CO_2}}{min}$$

$$Q_{expT} = 2 \cdot 0,2136 \frac{L_{CO_2}}{min}$$

$$Q_{expT} = 0,4272 \frac{L_{CO_2}}{min}$$

Considerando o tempo gasto entre as medições de 6 min e o volume do carro de 9,61m³, obtém-se:

$$\Delta C_{CO_2} = \frac{Q_{exp}}{V_{carro}}$$

$$\Delta C_{CO_2} = \frac{0.4272}{9,61 \text{ m}^3} \cdot \frac{L_{CO_2}}{\cancel{\text{min}}} \cdot 6 \cancel{\text{min}}$$

$$\Delta C_{CO_2} = 0,2667 \cdot \frac{L_{CO_2}}{\text{m}^3}$$

Expressando-se a concentração em ppm, encontra-se:

$$\Delta C_{CO_2} = 0,2667 \cdot \frac{L_{CO_2}}{\cancel{\text{m}^3}} \cdot \frac{1000 \text{ mL}}{\cancel{\text{L}}}$$

$$\Delta C_{CO_2} = 266,70 \text{ ppm}$$

Desse modo, a respiração humana foi responsável por 31,08% do teor de CO₂ gerado durante o modo de recirculação na situação de carro parado e na situação de carro em movimento, a influência foi de 56,62%.

O sistema de climatização sob o modo de renovação de ar, quando comparado ao sistema de recirculação de ar, apresenta taxa de crescimento bem menor no teor de gás carbônico. Nas condições de carro parado, o modo de renovação de ar se mostrou eficiente no que diz respeito a evitar a presença de altas concentração de CO₂, uma vez que após o valor limite de 771 ppm, a concentração de CO₂ passa a decair.

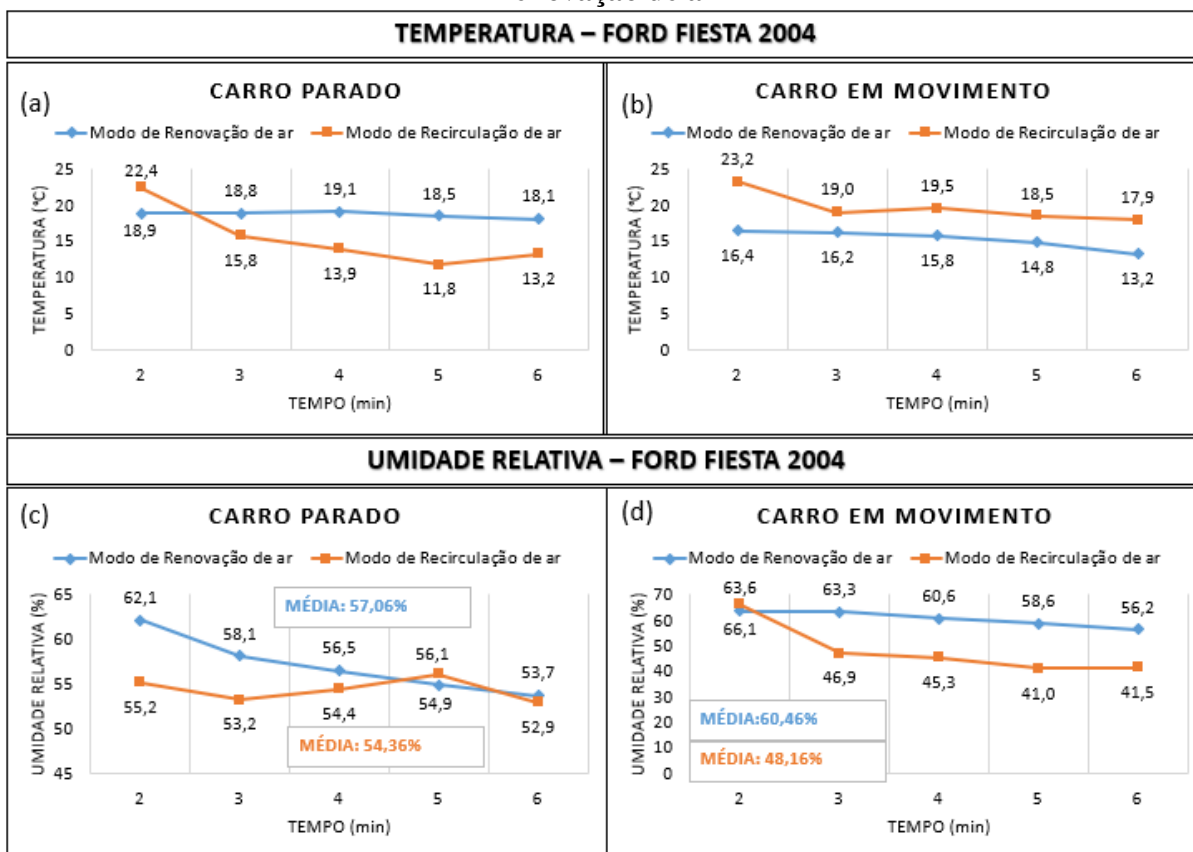
Embora apresente um crescimento de 18,97% na situação em que o carro se encontra em movimento, o modo de renovação de ar é considerado como uma alternativa de se evitar a poluição química e a sensação de ar pesado do ambiente, bem como todos os malefícios ocasionados pelas altas concentrações de CO₂.

Temperatura (°C) e Umidade Relativa do ar (%)

A evolução da temperatura e da UR com o tempo, em ambos os modos de condicionamento de ar e as duas situações, carro parado e em movimento, foram representadas em gráficos, conforme exibido na Figura 25.

Figura 25 – Evolução da temperatura e da umidade relativa com o tempo para o Ford Fiesta (a) temperatura para o carro parado sob o modo de recirculação e renovação de ar (b) temperatura para o carro em movimento sob o modo de recirculação e renovação de ar (c) umidade relativa para o carro parado sob o modo de recirculação e renovação

de ar (d) umidade relativa para o carro em movimento sob o modo de recirculação e renovação de ar



Fonte: Elaborado pela autora.

As condições do ambiente externo supracitadas serão consideradas para entender o comportamento das curvas acima, deste modo a temperatura do ambiente externo era de 33°C e a umidade relativa do ar de 46,33%.

Na situação de carro parado, as URs de ambos os modos de condicionamento de ar tenderam para um valor aproximado. No entanto, a curva da temperatura se comportou de maneira diferente para cada modo. No modo de recirculação a temperatura apresentou um decaimento de 10,4°C, enquanto que o modo de renovação de ar, praticamente, manteve a temperatura inicial, apenas com pequenas variações.

Na condição de carro em movimento, o decaimento da temperatura e UR no modo de recirculação foi maior do que o modo de renovação, apresentando um diferencial entre os modos de 12,2% de UR e 2,1°C na temperatura, corroborando para o fato de que o modo de recirculação é o melhor modo em termos de se atingir rapidamente o conforto ambiental.

Ainda, fazendo comparações entre os dois modos de condicionamento do sistema de ar condicionado do Ford Fiesta, detectou-se baixa eficiência no funcionamento do modo de renovação de ar deste carro no que diz respeito a refrigeração do ar e manutenção da umidade relativa do ar dentro do aceitável. Tal fato, pode ser explicado, pela idade do veículo bem como

pela falta de manutenção do sistema apontada pelo seu proprietário, os quais são fatores que influenciam diretamente no bom funcionamento deste.

Para este carro, frente aos dados analisados, serão considerados como parâmetros as duas faixas recomendadas pela NBR 16401-2, sendo estes: o intervalo de 23,0°C a 26°C e umidade relativa de 35%; e o intervalo de 22,5 °C a 25,5°C e umidade relativa de 65%. Os intervalos mencionados serão comparados aos dados obtidos, a saber:

- Carro parado sob modo de recirculação: 13,2 °C a 22,4°C e UR média de 54,36%;
- Carro parado sob modo de renovação: 18,1°C a 19,1°C e UR média de 57,06%;
- Carro em movimento sob modo de recirculação: 17,9°C a 23,2°C e UR média de 48,16%;
- Carro em movimento sob modo de renovação de ar: 13,2°C a 16,4°C e UR média de 60,46%.

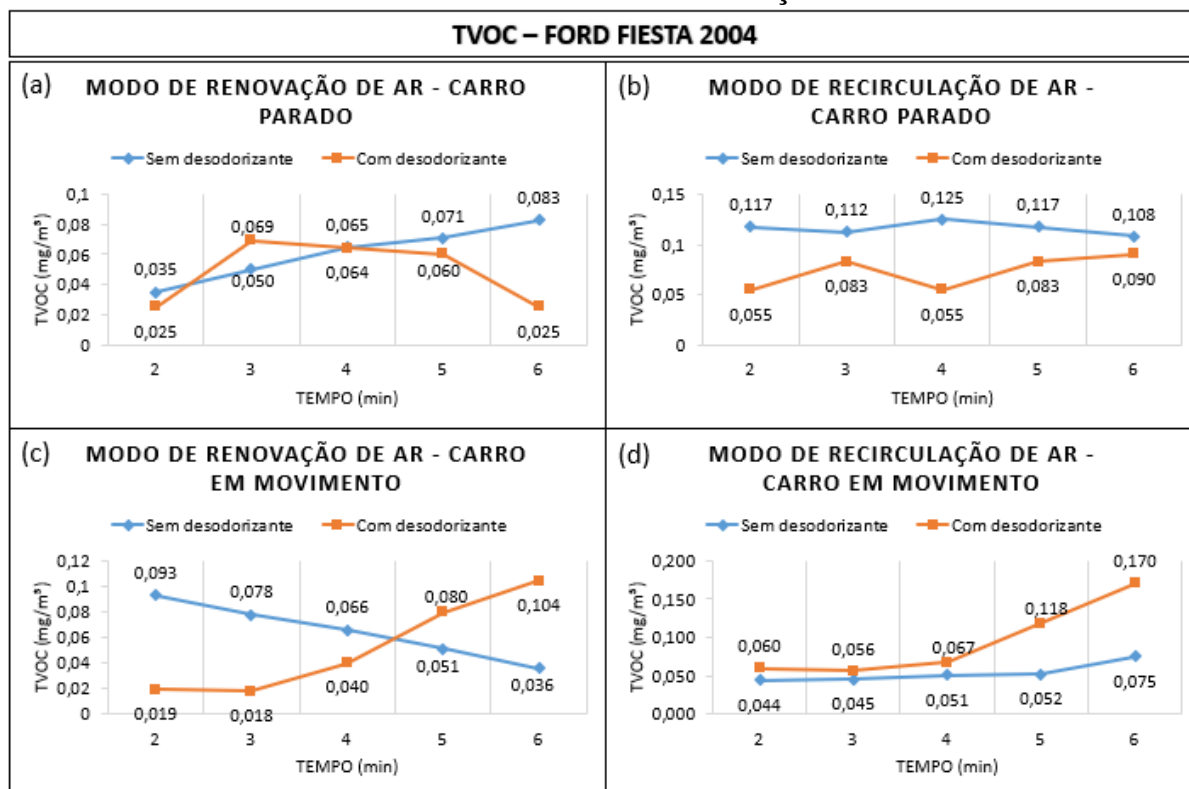
Em mais esse carro, os dados não se encaixaram aos padrões previstos na referida NBR.

COVT

A partir do monitoramento do ar interior do Ford Fiesta, nas condições de carro parado e em movimento elaborou-se gráficos do COVT em função do tempo sob os modos de recirculação e renovação de ar. Tais gráficos, serão exibidos na Figura 26.

Figura 26 - Gráficos de COVT em função do tempo do Ford Fiesta, com e sem desodorizante (a) carro parado sob modo de renovação do ar (b) carro parado sob modo

de recirculação do ar (c) carro em movimento sob modo de renovação de ar (d) carro em movimento sob modo de recirculação do ar



Fonte: Elaborado pela autora.

No momento da medição, havia um desodorizante no habitáculo do veículo, o qual foi prontamente removido. Este fator explica as medidas já elevadas de COVT obtidas na ausência do desodorizante, proveniente do monitoramento realizado nas três das quatro situações estudadas.

Analisando-se os gráficos, infere-se a partir destes que para situação de carro parado, sob modo de renovação de ar sem desodorizante, há um relevante aumento do teor de COVT ($0,048 \text{ mg/m}^3$) no ar interior do veículo, ao mesmo tempo que nas mesmas condições sob o modo de recirculação de ar há uma diminuição irrelevante do teor de COVT. As situações são justamente o oposto do que se espera para as duas modalidades de condicionamento de ar na ausência de desodorizante, demonstrando que o ar interno já estava contaminado com COVs.

Para situação de carro parado, sob modo de renovação de ar com desodorizante, as medições se apresentaram de modo bem instável, corroborando para a ineficiência das operações realizada por esse modo de condicionamento. Sob o modo de recirculação, ainda com carro parado, as medições tiveram nuances inicialmente, em que transcorridas as primeiras medições nota-se um aumento, apesar de pequeno, das concentrações deste.

Levando-se em consideração as situações sem o desodorizante e em movimento, o COVT no modo de recirculação, apesar de pequeno ($0,031 \text{ mg/m}^3$), há um acréscimo deste

enquanto que no modo de renovação há um decaimento considerável de $0,057 \text{ mg/m}^3$. Já com o desodorizante, ambos os modos apresentaram aumento substancial nas suas concentrações, entre $0,080 \text{ mg/m}^3$ e $0,110 \text{ mg/m}^3$, respectivamente. O que demonstra a influência significativa dos desodorizantes na poluição química no ambiente interior de veículos.

5 CONCLUSÃO

A QAI em carros de pequeno porte, sob os efeitos do seu sistema de climatização, em função da sua idade e das condições ambientais representadas pela concentração de CO₂, pela UR, pela temperatura interna do veículo e pelo teor de COVT foi avaliada. Além disso, a influência do uso de desodorizantes veicular em cada um dos carros escolhidos no teor de COVT foi verificada. E ainda, comparações entre as medições realizadas e os parâmetros exigidos pela legislação vigente foram comparadas, afim de se verificar conformidade destas em termos de conforto ambiental. Para isso, foram considerados os seguintes aspectos: modo de condicionamento de ar e sua eficiência; movimentação do veículo e hábitos do proprietário.

De modo geral, foi possível concluir que o carro mais novo, o Renault Sandero, possui um sistema de renovação de ar mais eficiente que os demais, uma vez que consegue evitar o acúmulo de CO₂ nos dois modos de condicionamento de ar.

Além disso, o modo de recirculação provocou altos índices de CO₂ em todos os carros, que ultrapassaram o limite de 1000 ppm recomendado pela Resolução nº09/2003 da ANVISA, demonstrando não conformidade já nos primeiros minutos de medição. Sendo, portanto, de extrema importância que o sistema de climatização veicular seja utilizado de maneira correta, uma vez que o recomendado é utilizar o modo de recirculação apenas quando se deseja alcançar, rapidamente, condições de conforto ambiental adequadas ou quando o ar do ambiente externo estiver poluído, passadas as devidas circunstâncias recomenda-se a utilização do modo de renovação de ar, o qual, em seu funcionamento ótimo, evita altas concentrações de CO₂ e consequente acúmulo de outros contaminantes mais nocivos à saúde humana.

Em relação à influência da respiração humana no teor de CO₂, quando ativado o modo de recirculação, foi percebido que a maior concentração atingida foi no HB20, pois este possui o menor volume entre os quatro carros estudados, porém, a interferência da respiração humana neste carro, é ultrapassada pela interferência da respiração gerada para o Fiat Punto apesar deste último possuir o maior volume interno dentre os carros estudados. Ademais, a interferência no HB20 na situação de carro em movimento, foi também ultrapassada pelo Renault Sandero com e pelo Ford Fiesta ambos com volumes internos maiores que o do HB20. Esta relação entre as interferências da respiração no teor de CO₂ no ar interior dos veículos está diretamente ligada ao sistema de vedação dos carros e às infiltrações que possivelmente acontecem, oriundas do sistema de climatização de cada veículo.

No que concerne à temperatura e à UR, concluiu-se que o modo de recirculação promove condições de conforto mais rápidas, porém pode tornar o ar mais seco, causando

efeitos adversos aos ocupantes do recinto. Ainda em relação a estes parâmetros, para todos os carros estudados, não houve atendimento aos padrões previstos na NBR 16.401-2, pois todos os carros não apresentaram valores dentro da faixa estipulada pela mesma.

Entretanto, essa norma é regulamentada para ambientes públicos climatizados, a qual estipula parâmetros ambientais suscetíveis de produzir sensação aceitável de conforto térmico em 80% ou mais dos ocupantes. Neste caso, por se tratar de ambientes internos de veículos de pequeno porte, de uso particular, em que os próprios ocupantes podem regular o sistema de climatização em razão do seu conforto, estes valores podem ser adequados de acordo com as suas necessidades, ficando, portanto, a cargo da subjetividade afirmar se o sistema de climatização veicular é capaz ou não de produzir condições de conforto ambiental adequadas.

No que diz respeito ao COVT, todos os carros demonstraram piora na qualidade do ar em relação à concentração deste parâmetro após a aplicação do desodorizante, com exceção do Ford Fiesta que exibiu tal comportamento apenas em um dos modos. No entanto, o fato pode ser explicado, uma vez que o dono do veículo já fazia uso de desodorizante e o teor de COVT já exibia concentrações significativas nas medições iniciais, antes mesmo da aplicação do desodorizante do estudo.

Diante o exposto, o presente estudo evidencia a necessidade de se manter uma boa QAI em carros de pequeno porte, os quais as pessoas estão dispensando, cada vez mais, o seu tempo dentro destes durante a sua vida. Além disso, o mesmo traz à tona a importância de se utilizar os modos de condicionamento de ar ofertados pelos veículos de maneira adequada, de forma que seja possível garantir uma boa QAI destes. Salienta-se também a atenção e o cuidado que se deve ter ao se fazer uso de desodorizantes/aromatizantes de ambientes interiores, os quais são eficazes apenas em neutralizar os odores ali existentes, contribuindo para contaminação química do local e nada fazendo a respeito da contaminação do ar interior em relação a contaminação biológica.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Devido às limitações encontradas no que diz respeito ao tempo, recomenda-se para trabalhos futuros monitoramentos do ar interno com maior tempo de duração, de modo que seja possível alcançar a estabilidade dos parâmetros estudados e, diante disso, analisar com maior propriedade a capacidade do sistema em manter condições adequadas de QAI.

Além disso, uma vez comprovado o aumento da concentração do COVT no ar interno com a presença de desodorizantes, torna-se imprescindível uma análise que seja capaz de identificar os diferentes COVs que surgem no ambiente com a utilização destes, bem como o seu tempo de permanência no ar interior, de modo a estudar o decaimento de COVT com o tempo.

As diferentes situações estudadas podem ser complementadas com o estudo de um mesmo carro em horários distintos do dia, para que se possa obter o comportamento da QAI frente as diferentes condicionantes ambientais que marcam o decorrer de um dia, o que torna possível, inclusive, obter a taxa de renovação do ar interior do veículo.

É possível ainda estudar a QAI em diferentes gerações de veículos de mesma marca e desse modo analisar as mudanças relacionadas aos sistemas de climatização, seus possíveis avanços e melhorias, bem como estudar a influência da idade do veículo de forma fidedigna.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, Catarina Fabiola Cardoso. **O ambiente interior e a saúde dos ocupantes de edifícios de habitação**. In: ABREU, Catarina Fabiola Cardoso. **QAI**. Capítulo 3. p 23-68. Dissertação (Mestrado em Eng. Civil) - Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2010.

ALMEIDA, Caroline Guerra Ramos. **Avaliação da QAI e do Conforto Ambiental no Prédio do Núcleo de Engenharia Ambiental**. 2015. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Eng. Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, 2015.

ALVES, Marileide Moraes. **Concepção e estudo de um biofiltro para tratamento de Compostos Orgânicos Voláteis - COVs**. 2005. Dissertação (Mestrado em Eng. Química) - Programa de Pós-graduação em Eng. Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, Março, 2005.

APA; LRA. Qualidade do Ar em Espaços Interiores-Guia Técnico. **Amadora**, Portugal, p. 1–53, 2009. Disponível em: <https://www.apambiente.pt/>. Acesso em: 10 de fev. 2019.

ASHRAE Standard 62-1989, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc. Atlanta, 1989.

ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers). ANSI/ASHRAE 62.1-2013 standard: ventilation for acceptable indoor air quality. Atlanta, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13.971**. Sistemas de refrigeração, condicionamento de ar, ventilação e aquecimento - Manutenção programada. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14.679**. Sistemas de condicionamento de ar e ventilação - Execução de serviços de higienização. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15.848**. Sistemas de ar condicionado e ventilação – Procedimentos e requisitos relativos às atividades de construção, reformas, operação e manutenção das instalações que afetam a QAI (QAI). Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16.401. Instalação de ar-condicionado - sistemas centrais e unitários. In: **NBR 16.401. Parte 1 - Projetos das instalações**. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16.401. Instalação de ar-condicionado - sistemas centrais e unitários. In: **NBR 16.401. Parte 2 - Parâmetros de conforto ambiental**. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16.401. Instalação de ar-condicionado - sistemas centrais e unitários. In: **NBR 16.401. Parte 3 - QAI**. Rio de Janeiro, 2008.

BARRESE, Elena. et al. Indoor Pollution in Work Office : VOCs , Formaldehyde and Ozone by Printer. **Occupational Diseases and Environmental Medicine**, Lamezia Terme, Italy, v. 2, p. 49–55, 2014.

BRASIL. Agência de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Resolução de Diretoria Colegiada – RDC Nº 40, de 05 de junho de 2008**. Regulamento Técnico para Produtos de Limpeza e Afins, 2008. Disponível em: http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RDC_40_2008.pdf/0dbd3b90-7406-4735-b5d7-b7dbdfb7f666. Acesso em: 26 mar. 2019.

BRASIL. Agência de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Resolução de Diretoria Colegiada – RDC Nº 252, de 16 de setembro de 2003**. Dispõe sobre o controle e a fiscalização dos produtos e serviços que envolvam risco à saúde pública, 2003. Disponível em: http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RDC_252_2003.pdf/9971ae79-3016-442d-b7ff-03dbd6f5f47d. Acesso em: 26 de mar. 2019.

BRASIL. Agência de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Resolução Nº 09, de 16 de janeiro de 2003**. Dispõe sobre Padrões Referenciais de QAI em Ambientes Climatizados Artificialmente de Uso Público e Coletivo, 2003. Disponível em: http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/RE_09_2003.pdf/f4af80d4-8516-4f9c-a745-cc8b4dc15727. Acesso em: 04 fev. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Comissão Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA n. 491, de 19 de novembro de 2018**. Estabelece padrões de qualidade do ar. Brasília, DF, 2018. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=740>. Acesso em: 25 mar. 2019.

BRASIL. Ministério do Trabalho. **Norma Regulamentadora (NR) nº 15: Atividades e Operações Insalubres**. 1978.

BRASIL. Ministério do Trabalho. **Norma Regulamentadora (NR) nº 17: Ergonomia**. 1978

BRICKUS, Leila. S. R.; NETO, Francisco R. de Aquino. A qualidade do ar de interiores e a química. **Química Nova**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 1, p. 65–74, abr. 1998.

BROWN, S. K.; CHENG, M. Volatile organic air contaminants within new car interiors. **Indoor Air 2005: Proceedings of the 10Th International Conference on Indoor Air Quality and Climate**, Vols 1-5, n. 1999, p. 2212–2216, 2005.

CARMO, A. T.; PRADO, R. T. Qualidade do Ar Interno. **Relatorio do ambiente interno**, p. 20, 1999. Disponível em: <http://saudeetrabalho.com.br/download/qualidade-ar-interno.pdf>. Acesso em: 23 de mar. 2019.

CASTRO, José de. **Refrigeração comercial e climatização industrial**. 1.ed. Leopardo editora: São Paulo, 2010.

CATUNDA, Ana Clea Marinho Miranda. **Desenvolvimento de um amostrador passivo e o uso da fibra da *Ceiba pentandra* (L .) Gaertn como biosorvente de compostos orgânicos voláteis - covs do ar**. 2016. Tese (Doutorado) - Centro de Ciências exatas e da terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2016.

CHAN, A. T.; CHUNG, M. W. Indoor-outdoor air quality relationships in vehicle: Effect of

driving environment and ventilation modes. **Atmospheric Environment**, v. 37, n. 27, p. 3795–3808, 2003.

CHAVES, André Luís de Oliveira. **Sustentabilidade na Arquitetura e o estudo dos Compostos Orgânicos Voláteis emitidos por componentes vinílicos em habitações**. 2016. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, 2016.

CORSI, Henrique Gustavo Monteiro; FERREIRA, Jorge Henrique dos Santos. **Giga de Teste para sistemas de climatização veicular**. 2017. Trabalho de conclusão de curso (Tecnólogo em Eletrônica Automotiva) - Faculdade de Tecnologia de Santo André, Santo André-SP, 2017.

CSA RESEARCH. **Citroen inspired by you**. Janeiro, Brasil, 2017. Disponível em: <https://www.csa.eu/fr/home>. Acesso em: 30 mar. 2019.

DÍAZ, Rafael Prudencio Sacca. **Avaliação da influência da carga de gás em um sistema de condicionamento de ar automotivo**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Outubro, 2002.

ECA, E. C. A. Total Volatile Organic Compounds (COVT) in IAQ investigation. **European Commission Joint Research Center - Environmental Institute**, v. EUR 17675, 1997.

ENERGÉTICA, Qualidade do ar. **MONITORAMENTO DE VOCS - PID OU FID?** [S. l.: s. n.] Disponível em: <https://www.energetica.ind.br/wp/env1/wp-content/uploads/2016/01/env1_monit-vocs-pid-fid-rev-04.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2019.

EPA, U. S. E. P. A. **Sick Building Syndrome Indoor Air Facts**. Research and Development (MD-56), 1991.

EU, E.U Diretiva 1999/13/CE - Relativa à limitação das emissões de compostos orgânicos voláteis resultantes da utilização de solventes orgânicos em certas atividades e instalações. **Jornal Oficial da União Europeia**. v. 85, p.1, 1999. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1999L0013:20090112:PT:PDF>. Acesso em: 17 abr. 2019.

EU, E. U. Diretiva 2008/50/CE - Relativa à qualidade do ar ambiente e a um ar mais limpo na Europa. **Jornal Oficial da União Europeia**, v. 44, p. L 152, 2008. Disponível em: http://www.apambiente.pt/_zdata/DAR/Directiva_2008_050_CE_CAFE_21Maio.pdf. Acesso em: 30 mar. 2019.

FAKHOURY, Nicolas Alexandre. **Estudo da QAI em ambientes educacionais**. 2017. 196 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Univesidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

FIAT. **Manual de uso e manutenção**, 2013.

FIGUEIREDO, Roberto. **Ar Condicionado Veicular**. SENAI CIMATEC – Centro Integrado de Manufatura e Tecnologia. Salvador, 2008.

FILHO, Auzébio Valvassori. **Avaliação da Qualidade do Ar de Cabines de Veículos Automotores Recém-manufaturados**. 2008. 59 p. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) - Instituto de química da universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

FORNASARI, Adriano José.; BIONDO, Diego.; ROANI, Luan Saldanha. **Sistema de controle de temperatura de ar condicionado automotivo**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Automação Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2013.

GAZIOLLA, Helio.; GOMES, Rodrigo Daniel Gomes. **Sistema de climatização automotivo**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Eletrônica Automotiva) - Faculdade de Tecnologia de Santo André, Santo André-SP, 2010.

GUYTON, Arthur. C.; HALL, John. E. **Textbook of Medical Physiology**. 11^a ed. 2006.

ITAO, Danilo Carreira. **Estudo de um sistema alternativo de ar condicionado automotivo baseado**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Automotiva) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

INSTRUTHERM. **Manual de Instruções**. Analisador de dióxido de carbono modelo-c02. São Paulo, 2010.

INTERNACIONAL LABOUR ORGANIZATION. International Chemical Safety Cards.

ICSC database. International Labour Organization, c2017. Disponível em:

https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=en&p_card_id=0015&p_version=2.

Acesso em: 11 mar. 2019.

JESUS, Liliane *et al.* Exposição Ocupacional ao formaldeído, COV e partículas: impacto na saúde humana. **Interações: Sociedade e as Novas Modernidades**, n. 22, p. 77–93, 2013. Disponível em: <http://www.interacoes-ismt.com/index.php/revista/article/view/336/348>. Acesso em: 20 de fev. 2019.

JINNO, H. et al. Impact of air fresheners and deodorizers on the indoor total volatile organic compounds. **Kokuritsu Iyakuhin Shokuhin Eisei Kenkyusho Hokoku**, n. 125, p. 8–72, 2007.

KANNEBLEY, Zuleika M. Ventilação artificial com o auxílio de respirador Bird-Mark 7. **Rev Bras Enferm**, v. 26, n. 3, p. 148–159, 1973. Disponível em: <http://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/bde-2260>. Acesso em: 01 de abr. de 2019.

KHAN, F. I.; GHOSHAL, A. K. Removal of Volatile Organic Compounds from polluted air. **Loss Prevencion in the process industries**, v. 13, n. x, p. 527–545, 2000.

KRUZA, Magdalena; CARSLAW, Nicola. How Do Breath and Skin Emissions Impact Indoor Air Chemistry? **Indoor Air**, p. 0–2, 2019. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1111/ina.12539>. Acesso em: 28 fev. 2019.

MAHLE. **Manual de falhas prematuras em compressores**. Disponível em: <https://www.mahle-aftermarket.com/media/local-media-latin-america/catalogs/manuais->

tecnicos/2018-01-22-mahle-manual-de-falhas-em-compressores-2018.pdf. Acesso em: 24 fev. 2019.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria nº3523/GM, de 28 de agosto de 1998.** Aprova Regulamento Técnico contendo medidas básicas referentes aos procedimentos de verificação visual do estado de limpeza, remoção de sujidades por métodos físicos e manutenção do estado de integridade e eficiência de todos os componentes dos sistemas de climatização, para garantir a Qualidade do Ar de Interiores e prevenção de riscos à saúde dos ocupantes de ambientes climatizados. Diário Oficial da União, Brasília (DF). Disponível em: http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/5125585/4150517/4aPortaria3.523_1998.pdf. Acesso em: 04 fev. 2019.

MOURA, Marcelo Blanco Bolsonaro de. **Aprimoramentos em sistemas de climatização veicular para melhoria de condições ambientais e redução no consumo de combustível.** 2007. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestre Profissional em Eng. Automotiva) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, 2007.

NOGUEIRA, Raquel F. P.; JARDIM, Wilson. F. A fotocatalise heterogênea e sua aplicação ambiental. **Química Nova**, v. 2, n. 1, p. 69–72, jul. 1997.

OLIVEIRA, Eduardo Filipe Gomes. **Planeamento e controlo da instalação e manutenção de sistemas avac.** 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal, 2013.

OLIVEIRA, Ingrid Jardim de A. S. *et al.* Ácaro nos sistemas de refrigeração em veículos automotores particulares em Belford Roxo, RJ. **Uniabeu**, p. 36–49, mar. 2014.

OTT, Wayne.; KLEPEIS, Neil.; SWITZER, Paul. Air change rates of motor vehicles and in-vehicle pollutant concentrations from secondhand smoke. **Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology**, v. 18, n. 3, p. 312–325, 2008.

QUADROS, Marina Eller *et al.* Qualidade do ar interno em veículos automotivos e ônibus de transporte público em termos da concentração de dióxido de carbono. **XIII SILUBESA - Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 61–68, jan. 2008.

QUADROS, Marina Eller; LISBOA, Henrique de Melo. Controle da Poluição Atmosférica. *In*: QUADROS, Marina Eller; LISBOA, Henrique de Melo. **Qualidade do Ar Interno.** Última atualização, Capítulo IX, p. 1–37. 2010.

RAMOS, Joana Sebastião Silveira. **Sistemas de aquecimento e ventilação Estágio em Genebra.** 2014. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente) - Faculdade de ciências, Universidade de Lisboa, 2014.

ROSOLINO, P. **Utilização de espectrofotômetro de infravermelho portátil para a determinação quantitativa de compostos orgânicos voláteis (BTEX) em amostras de efluentes líquidos.** 2012. Dissertação (Mestrado em saúde pública) -Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6134/tde-07112012-161805/publico/PaulaRosolino.pdf>. Acesso em: 24 de mar. de 2019.

SANTOS, Eduardo Oliveira dos. **Dimensionamento e avaliação do ciclo de refrigeração de**

sistema de climatização automotivo. 2005. Dissertação (Mestrado profissionalizante em Eng. Automotiva) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SCHIMER, W. N.; RUDNIAK, A. Avaliação das emissões gasosas de diferentes tipos de combustíveis utilizados e seus impactos ambientais. **Tecno-lógica**, Irati-PR, p. 25–34, jul. 2009.

SCHULZE, F. et al. Air Quality Effects on Human Health and Approaches for Its Assessment through Microfluidic Chips. **Genes**, v. 8, p. 3–26, 2017. Disponível em: <www.mdpi.com/journal/genes>. Acesso em: 23 de mar. 2019.

SILVA, Edson da. **Climatização Automotiva Detalhada**. Conceitos Básicos e Manutenção. 1. ed. Ensino Profissional: Brasil. 96 p, 2006.

SILVA, Gabriela Ventura Alves da. **Estudo de emissões de COVs por materiais usados em interiores de edifícios**. 2000. Dissertação (Doutorado em Química) - Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, 2000.

SILVA, Vitor Hugo Borges da. **Impacto dos sistemas de climatização no conforto térmico em edifícios**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2011.

SILVA, Vanessa Pinheiro da; ROCHA, Fabrício Wesley da. Comparação entre as técnicas dos Compostos Orgânicos Voláteis. **VII EPCC Encontro Internacional de Produção Científica**, out. 2011.

SOARES, Vitor Rafael Galisteo. **Treinamento em Manutenção de Ar Condicionado Automotivo**. SENAI-SC Unidade São José. São José, Santa Catarina, setembro, 2009.

USA, FSIS Environmental, Safety and Health Group. **Carbon Dioxide Health Hazard Information Sheet**. ESHG-Health-02.00, [20--].

YEATTS, K. B. et al. Indoor Air Pollutants and Health in the United Arab Emirates. **Environmental Health Perspectives**, v. 120, n. 5, p. 687–695, maio 2012.

YOSHIDA, T. Estimation of absorption of aromatic hydrocarbons diffusing from interior materials in automobile cabins by inhalation toxicokinetic analysis in rats. **Applied Toxicology**, v. 30, n. March, p. 525–535, 2010.

ZHANG, J. J.; SMITH, K. R. Indoor air pollution : a global health concern. **British Medical Bulletin**. vol. 68. p. 209–225, 2003.

APÊNDICE I - Questionários

QUESTIONÁRIO

Qual o ano de fabricação do seu carro?

2004

Qual a marca e modelo do seu carro?

FORD FIESTA, HATCH 1.0

Você foi o primeiro dono do veículo?

☐ Sim

☒ Não. Quantos donos o veículo já possuiu? NÃO SEI

☐ Não sabe informar

Com qual frequência você utiliza o seu carro?

☒ Diariamente

☐ Duas vezes na semana

☐ Três vezes na semana

☐ Somente aos finais de semana

☐ Raramente

Você utiliza o seu carro para trabalhar?

☒ Sim

☐ Não

Com qual frequência você utiliza o sistema de ar condicionado do seu carro?

☐ Todas as vezes que utiliza o carro

☐ Somente durante viagens

☐ Somente em dias de muito calor

☒ Raramente

☐ Somente em dias chuvosos

☐ Não utiliza

Em qual modo você costuma utilizar o condicionamento de ar do seu carro?

☐ Sistema de recirculação de ar

☐ Sistema de renovação do ar

☒ Não sabe informar

Já trocou o filtro de cabine do aparelho de ar condicionado do seu carro?

☐ Sim. Quantas vezes? 2 vezes

☐ Não

☒ Não sabe informar

Já realizou algum outro tipo de manutenção no aparelho de ar condicionado do seu carro?

☐ Sim. Qual? _____

☐ Não

☒ Não sabe informar

Com que frequência você faz a limpeza interna do veículo?

☐ Semanalmente

☐ De 15 em 15 dias

☐ Mensalmente

☐ De 2 em 2 meses

☒ Sempre que julga necessário

☐ De 3 em 3 meses

☐ Raramente

Você faz uso de desodorizantes no seu veículo?

☒ Sim

☐ Não

☐ Às vezes

Você ou algum passageiro frequente, costuma passar perfume dentro do carro?

☐ Sim

☒ Não

☐ Às vezes

Você ou algum passageiro frequente, costuma fumar dentro do veículo?

☐ Sim

☒ Não

☐ Às vezes

Este questionário foi desenvolvido com base no artigo de Oliveira et al. (2014).

OLIVEIRA, I. et al. Ácaro nos sistemas de refrigeração em veículos automotores particulares em Belford Roxo, RJ. **Uniabeu**, p. 36–49, mar. 2014.

QUESTIONÁRIO

Qual o ano de fabricação do seu carro?

2017

Qual a marca e modelo do seu carro?

Renault / Samano Expresso

Você foi o primeiro dono do veículo?

☒ Sim

☐ Não. Quantos donos o veículo já possuiu? _____

☐ Não sabe informar

Com qual frequência você utiliza o seu carro?

☒ Diariamente

☐ Duas vezes na semana

☐ Três vezes na semana

☐ Somente aos finais de semana

☐ Raramente

Você utiliza o seu carro para trabalhar?

☒ Sim

☐ Não

Com qual frequência você utiliza o sistema de ar condicionado do seu carro?

☒ Todas as vezes que utiliza o carro

☐ Somente durante viagens

☐ Somente em dias de muito calor

☐ Raramente

☐ Somente em dias chuvosos

☐ Não utiliza

Em qual modo você costuma utilizar o condicionamento de ar do seu carro?

☒ Sistema de recirculação de ar

☐ Sistema de renovação do ar

☐ Não sabe informar

Já trocou o filtro de cabine do aparelho de ar condicionado do seu carro?

☒ Sim. Quantas vezes? 1 ou 2 vezes

☐ Não

☐ Não sabe informar

Já realizou algum outro tipo de manutenção no aparelho de ar condicionado do seu carro?

☐ Sim. Qual? _____

☒ Não

☐ Não sabe informar

Com que frequência você faz a limpeza interna do veículo?

☐ Semanalmente

☐ De 15 em 15 dias

☒ Mensalmente

☐ De 2 em 2 meses

☐ Sempre que julga necessário

☐ De 3 em 3 meses

☐ Raramente

Você faz uso de desodorizantes no seu veículo?

☐ Sim

☒ Não

☐ Às vezes

Você ou algum passageiro frequente, costuma passar perfume dentro do carro?

☒ Sim

☐ Não

☐ Às vezes

Você ou algum passageiro frequente, costuma fumar dentro do veículo?

☐ Sim

☒ Não

☐ Às vezes

Este questionário foi desenvolvido com base no artigo de Oliveira et al. (2014).

OLIVEIRA, I. et al. Ácaro nos sistemas de refrigeração em veículos automotores particulares em Belford Roxo, RJ. *Uniabeu*, p. 36-49, mar. 2014.

QUESTIONÁRIO

Qual o ano de fabricação do seu carro?

2013

Qual a marca e modelo do seu carro?

Hyundai, Mb201.0

Você foi o primeiro dono do veículo?

☐ Sim

☒ Não. Quantos donos o veículo já possuiu? Não sei

☐ Não sabe informar

Com qual frequência você utiliza o seu carro?

☐ Diariamente

☐ Duas vezes na semana

☐ Três vezes na semana

☒ Somente aos finais de semana

☐ Raramente

Você utiliza o seu carro para trabalhar?

☐ Sim

☒ Não

Com qual frequência você utiliza o sistema de ar condicionado do seu carro?

☒ Todas as vezes que utiliza o carro

☐ Somente durante viagens

☐ Somente em dias de muito calor

☐ Raramente

☐ Somente em dias chuvosos

☐ Não utiliza

Em qual modo você costuma utilizar o condicionamento de ar do seu carro?

☒ Sistema de recirculação de ar

☐ Sistema de renovação do ar

☐ Não sabe informar

Já trocou o filtro de cabine do aparelho de ar condicionado do seu carro?

☐ Sim. Quantas vezes? _____

☒ Não

☐ Não sabe informar

Já realizou algum outro tipo de manutenção no aparelho de ar condicionado do seu carro?

☒ Sim. Qual? Completar o gás de refrigeração

☐ Não

☐ Não sabe informar

Com que frequência você faz a limpeza interna do veículo?

☐ Semanalmente

☐ De 15 em 15 dias

☐ Mensalmente

☐ De 2 em 2 meses

☒ Sempre que julga necessário

☐ De 3 em 3 meses

☐ Raramente

Você faz uso de desodorizantes no seu veículo?

☒ Sim

☐ Não

☐ Às vezes

Você ou algum passageiro frequente, costuma passar perfume dentro do carro?

☐ Sim

☒ Não

☐ Às vezes

Você ou algum passageiro frequente, costuma fumar dentro do veículo?

☐ Sim

☒ Não

☐ Às vezes

Este questionário foi desenvolvido com base no artigo de Oliveira et al. (2014).

OLIVEIRA, I. et al. Ácaro nos sistemas de refrigeração em veículos automotores particulares em Belford Roxo, RJ. **Uniabeu**, p. 36-49, mar. 2014.

QUESTIONÁRIO

Qual o ano de fabricação do seu carro?

2011 -

Qual a marca e modelo do seu carro?

FIAT - PUNTO ESSENCE 1.6 DL

Você foi o primeiro dono do veículo?

☐ Sim

☒ Não. Quantos donos o veículo já possuiu? 2

☐ Não sabe informar

Com qual frequência você utiliza o seu carro?

☒ Diariamente

☐ Duas vezes na semana

☐ Três vezes na semana

☐ Somente aos finais de semana

☐ Raramente

Você utiliza o seu carro para trabalhar?

☐ Sim

☒ Não

Com qual frequência você utiliza o sistema de ar condicionado do seu carro?

☐ Todas as vezes que utiliza o carro

☐ Somente durante viagens

☒ Somente em dias de muito calor

☐ Raramente

☐ Somente em dias chuvosos

☐ Não utiliza

Em qual modo você costuma utilizar o condicionamento de ar do seu carro?

☒ Sistema de recirculação de ar

☐ Sistema de renovação do ar

☐ Não sabe informar

Já trocou o filtro de cabine do aparelho de ar condicionado do seu carro?

☐ Sim. Quantas vezes? _____

☒ Não

☐ Não sabe informar

Já realizou algum outro tipo de manutenção no aparelho de ar condicionado do seu carro?

☐ Sim. Qual? _____

☒ Não

☐ Não sabe informar

Com que frequência você faz a limpeza interna do veículo?

☐ Semanalmente

☒ De 15 em 15 dias

☐ Mensalmente

☐ De 2 em 2 meses

☐ Sempre que julga necessário

☐ De 3 em 3 meses

☐ Raramente

Você faz uso de desodorizantes no seu veículo?

☐ Sim

☐ Não

☒ Às vezes

Você ou algum passageiro frequente, costuma passar perfume dentro do carro?

☐ Sim

☐ Não

☒ Às vezes

Você ou algum passageiro frequente, costuma fumar dentro do veículo?

☐ Sim

☒ Não

☐ Às vezes

Este questionário foi desenvolvido com base no artigo de Oliveira et al. (2014).

OLIVEIRA, I. et al. Ácaro nos sistemas de refrigeração em veículos automotores particulares em Belford Roxo, RJ. **Uniabeu**, p. 36–49, mar. 2014.